

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

SIMULATION OF DRIVING EMISSION CYCLE

BACHELOR THESIS

Mirko Šída

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Strojírenství

Zaměření 2302R022

Dopravní stroje a zařízení

SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU

Bakalářská práce

SIMULATION OF DRIVING EMISSION CYCLE

Bachelor thesis

KVM – BP – 276

Mirko Šída

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D., TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Pechout, TU v Liberci, KVM

Počet stran: 45

Počet obrázků: 25

Počet příloh: 7

Počet výkresů: 0

Květen 2012

Místo pro vložení originálního zadání BP

SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU

Anotace

Tato práce se zabývá problematikou simulace jízdního emisního cyklu. Práce obsahuje stručný popis měření na válcové emisní brzdě, dále jsou v práci v rámci manuálu popsány základní kroky k vytvoření simulačního modelu vozidla, které projede předem definovaný jízdní cyklus, v softwaru Ricardo Wave. Dále je v práci popsáno zobrazení naměřených emisních hodnot v rámci projetého jízdního cyklu a v neposlední řadě se práce zabývá vytvořením jednoduchého simulačního modelu skutečného vozidla, kterým je Škoda Fabia první generace s tříválcovým motorem 1,2 HTP.

Klíčová slova: simulace, jízdní cyklus, emise, Ricardo Wave

SIMULATION OF DRIVING EMISSION CYCLE

Annotation

A bachelor thesis is about simulation of driving emission cycle. The work contains a short description of measuring by dynamometer, there is also a manual useful for setting simulation model of vehicle, which goes some defined driving cycle. The bachelor thesis also contains a description of displaying emissions values, which were find out. The last but not least result of the work is an easy simulation model of a real vehicle, which is a first generation of Škoda Fabia with engine 1,2 HTP. All the work was done in a software Ricardo Wave.

Key words: simulation, driving cycle, emissions, Ricardo Wave

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D., a konzultantovi, Ing. Martinovi Pechoutovi za cenné informace a připomínky, které mi poskytli během zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Technické univerzitě v Liberci, která mi umožnila přístup do počítačové laboratoře se softwarem. V neposlední řadě bych chtěl velmi poděkovat svým rodičům za trpělivost a podporu ve studiu.

V Liberci dne

Mirko Šída

Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	PROBLEMATIKA MĚŘENÍ NA VÁLCOVÉ EMISNÍ BRZDĚ	10
2.1	VÁLCOVÁ EMISNÍ BRZDA.....	10
2.2	MĚŘENÍ NA VÁLCOVÉ EMISNÍ BRZDĚ.....	12
2.3	JÍZDNÍ CYKLY	14
3	NASTAVENÍ SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU	16
3.1	SOFTWARE PRO TVORBU SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU....	16
3.2	MODEL MOTORU	17
3.3	MODUL DRIVELINE	18
3.4	NASTAVENÍ SPOUŠTĚČE MOTORU.....	20
3.5	NASTAVENÍ MOTORU.....	20
3.6	NASTAVENÍ SPOJKY	21
3.7	NASTAVENÍ PŘEVODOVKY.....	22
3.8	NASTAVENÍ HNACÍHO HŘÍDELE.....	23
3.9	NASTAVENÍ ROZVODOVKY	24
3.10	NASTAVENÍ POLOOS.....	24
3.11	NASTAVENÍ BRZD.....	25
3.12	NASTAVENÍ VOZIDLA	26
3.13	NASTAVENÍ STRATEGIE ŘAZENÍ	27
3.14	NASTAVENÍ OVLÁDÁNÍ MANUÁLNÍHO ŘAZENÍ.....	28
3.15	NASTAVENÍ CHOVÁNÍ ŘIDIČE	29
3.16	NASTAVENÍ GRAFŮ V DRIVELINE	31
4	PROVEDENÍ SIMULACE A ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ	32
4.1	NASTAVENÍ MAPY OTÁČEK MOTORU	32
4.2	PROVEDENÍ SIMULACE.....	33
4.3	ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ	34
5	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
	SEZNAM TABULEK	43
	SEZNAM GRAFŮ	43
	SEZNAM OBRÁZKŮ	44
	SEZNAM PŘÍLOH	45

1 ÚVOD

V posledních letech se setkáváme s obrovským nárůstem počtu vozidel nejen v České republice, ale i na celé naší planetě. Tato vozidla jsou zpravidla poháněna pístovými spalovacími motory na kapalná uhlovodíková paliva – benzín, nafta. Spalováním těchto paliv každodenně vzniká obrovské množství škodlivých výfukových plynů, které zatěžují naši planetu. Z tohoto důvodu jsou v rámci legislativy zaváděny emisní normy, které musí každý výrobce vozidel splňovat. Tyto normy jsou postupně aktualizovány tak, aby škodlivé látky ve výfukových plynech byly postupně stlačeny na minimum. Testování vozidel v rámci emisních norem se provádí na válcových emisních brzdách, kde je vozidlo podrobeno projetí určitého jízdního cyklu. Toto testování je však poměrně nákladnou a časově náročnou záležitostí, proto by bylo užitečné ho, alespoň v některých případech, nahradit počítačovou simulací.

Hlavním cílem mé bakalářské práce je vytvoření simulačního modelu reálného vozidla se spalovacím motorem, které projede předem definovanou dráhu (jízdní cyklus) např. evropský jízdní cyklus, americký jízdní cyklus. Po projetí definované dráhy vozidlem dojde k zobrazení výsledků, které budou obsahovat hodnoty vyprodukovaných emisí výfukových plynů vozidla. Software pravděpodobně nebude na takové úrovni, aby byl schopen obsáhnout veškeré aspekty, které vstupují do produkce emisí při reálném testování vozidla, a nedostaneme tedy přesné hodnoty vyprodukovaných emisí, ale měl by být schopen vytvořit trendy průběhu emisí v závislosti na času testu. Tyto trendy je poté možné mezi sebou porovnávat, případně provést porovnání různých vozidel. Simulační model vozidla bude vycházet z dostupných dat vybraného skutečného vozidla, kterým se stala Škoda Fabia první generace s motorem 1,2 HTP.

Pro dostatečné pochopení tématu bude mým prvotním cílem nastudování obecné problematiky měření na válcové emisní brzdě. Abych mohl vytvořit simulační model vozidla, bude dalším cílem mé bakalářské práce podrobné nastudování simulačního softwaru, který je k dispozici na Katedře vozidel a motorů (TUL). Z dostupného softwaru jsem zvolil program Ricardo Wave od společnosti Ricardo, který by měl splňovat všechny požadavky pro tvorbu simulačního modelu vozidla a vytvoření jízdních emisních cyklů.

Posledním cílem bakalářské práce je vytvoření studijního materiálu ve formě příručky nebo manuálu, který bude obsahovat veškeré informace ohledně postupu a nastavení celé simulace jízdního emisního cyklu od tvorby simulačního modelu vozidla, přes spuštění simulace až po zobrazení výsledků. V závěru mé bakalářské práce bych rád porovnal výsledky simulace se skutečnými výsledky naměřenými na válcové emisní brzdě. Výsledky bakalářské práce by měly být použitelné pro další rozvoj této problematiky na Katedře vozidel a motorů (TUL).

Aby byl napsaný manuál k softwaru co možná nejpřehlednější a nejsrozumitelnější, popíšu v bakalářské práci vždy dané nastavení programu obecně a následně uvedu, jakým způsobem jsem nastavil svůj jednoduchý model skutečného vozidla. Vše doplním obrázkem daného nastavení.

2 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ NA VÁLCOVÉ EMISNÍ BRZDĚ

2.1 VÁLCOVÁ EMISNÍ BRZDA

Válcová brzda slouží k měření výkonu spalovacího motoru vozidla, aniž bychom ho museli z vozidla demontovat, což je výhodné především z časových a ekonomických důvodů. Princip měření na válcové brzdě spočívá v tom, že na hnací kola vozidla je přenášen výkon spalovacího motoru a kola třením roztáčí válce válcové brzdy, které nahrazují vozovku. Tímto způsobem se dosáhne toho, že vozidlo při testech stojí na místě, ale pohybuje se vozovka pod ním. Válce brzdy jsou dále připojeny na další zařízení, které klade otáčejícím se kolům brzdny odpor a umožňuje regulaci jeho velikosti. Tento brzdny moment vyvolává reakční moment stejné velikosti, ale s opačným smyslem, a protože jsou válce spojeny s rotorem brzdneho zařízení a poháněny koly vozidla, je reakční moment přenášen přes stator na siloměrné zařízení - tenzometr. Při přenosu výkonu z hnacích kol vozidla na válce válcové brzdy však dochází k určitým ztrátám, se kterými je nutné počítat. Válcová brzda může být konstruována tak, že má buď jeden válec, nebo dva válce. Přední válec přímo nebo nepřímo pohání setrvačné hmoty a zařízení k pohlcování výkonu.

Pro měření emisí musí být válcový dynamometr schopen simulovat jízdní zatížení jedním z následujících způsobů:

- dynamometr s pevnou křivkou zatížení
- dynamometr s nastavitelnou křivkou zatížení

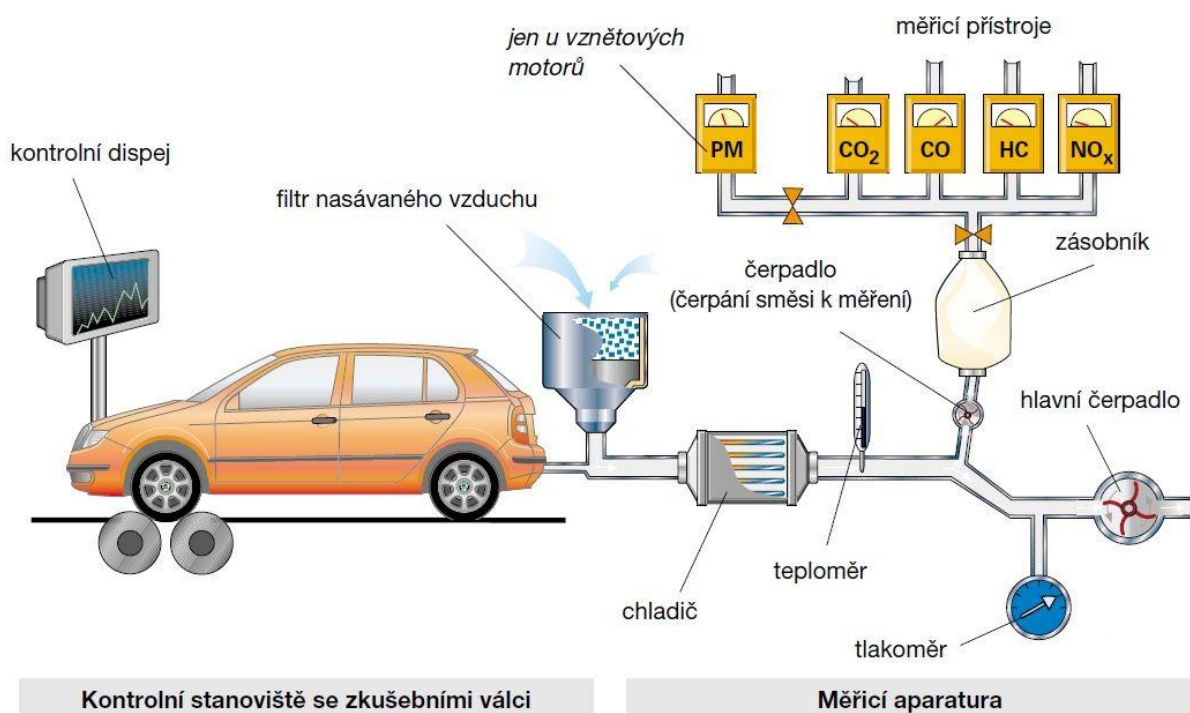
Válcový dynamometr s pevnou křivkou zatížení je konstruován tak, že křivku zatížení není možné regulovat. Naopak při měření na dynamometru s nastavitelnou křivkou zatížení může být křivka zatížení regulována alespoň dvěma parametry jízdního zatížení. Dále musí být dynamometr vybaven prostředky k simulaci setrvačné hmotnosti a jízdního zatížení. Pro zkoušky je nutné znát celkovou setrvačnou hmotnost rotujících částí (včetně simulované setrvačné hmotnosti).

Seřízení dynamometru musí být stálé v čase a nesmí se samovolně měnit během měření. Dynamometr by neměl vyvolávat vibrace, které by jakýmkoliv způsobem měly vliv na vozidlo.

Rychlost vozidla se získává z rychlosti otáčení válce dynamometru, pokud je dynamometr konstruován jako dvouválcový, získává se rychlost z předního válce. Od rychlosti 10 km/h musí být rychlost měřena s přesností ± 1 km/h. Otáčením válce se pak měří i skutečná celková ujetá vzdálenost vozidla.

Při provádění emisních zkoušek na válcové emisní brzdě je z důvodu správného chlazení motoru nutné vozidlo ofukovat proudem vzduchu, což je zajištěno náporovým ventilátorem. Pro zajištění co možná nejreálnějších podmínek jsou otáčky ventilátoru měněny v závislosti na otáčkách válců válcové brzdy.

Plynné látky ve výfukových plynech se analyzují různými typy analyzátorů podle dané látky, posouzení množství pevných částic se provádí vážením částic zachycených filtry. Tyto filtry se vkládají dva za sebe do toku odebíraného plynu.



Obr. 1 Schéma emisní válcové brzdy [3]

2.2 MĚŘENÍ NA VÁLCOVÉ EMISNÍ BRZDĚ

Na válcové emisní brzdě se zpravidla provádí měření a diagnostika motorových vozidel, především se měří emise vozidel, spotřeba paliva a v neposlední řadě také jízdní odpory. Při měření se většinou používají jízdní cykly, které mají za úkol nasimulovat jízdu vozidla v reálném provozu, a protože jsou předem jasně definované, můžeme mezi sebou výsledky z těchto zkoušek velice jednoduše porovnávat.

Zkušební vozidlo by mělo být na emisní zkoušku podle předpisu Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů číslo 83 dodáno v dobrém mechanickém stavu a mělo by mít najeto minimálně 3 000 km. Pneumatiky vozidla je nutné mít nahuštěné dle údajů výrobce na hodnotu, která by odpovídala předběžné silniční zkoušce pro seřízení brzd. Před zkoušením by mělo být vozidlo v prostoru, kde je relativně konstantní vlhkost mezi 5,5 a 12,2 gramy vody na kilogram suchého vzduchu a relativně konstantní teplota od 20 °C do 30 °C, po dobu minimálně 6 hodin tak, aby se teplota motorového oleje a chladicí kapaliny nelišila o více než ± 2 °C od okolního prostředí.

Výfukové zařízení vozidla by nemělo vykazovat známky netěsnosti, čímž by mohlo dojít ke snížení množství odebíraného plynu z motoru. Vozidlo taktéž musí být při emisní zkoušce poháněno některým z referenčních paliv.

Mezi teoretickou rychlostí, která je určena jízdním cyklem, a měřenou rychlostí je dovolena odchylka ± 2 km/h, ať už se jedná o zrychlování, jízdu konstantní rychlostí, nebo zpomalování. Při změnách cyklu jsou povoleny větší odchylky za předpokladu, že doba těchto odchylek nikdy nepřekročí 0,5 s. Dovolené odchylky času jsou ± 1 s. Aby po měření bylo možné posoudit správnost projetí jízdního cyklu, je rychlost při zkoušce zapisována v závislosti na času, nebo je zaznamenávána systémem pro odběr a zpracování dat.

V rámci emisních zkoušek jsou předpisem Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů 83 nastaveny limity škodlivých látek ve výfukových plynech, kterými jsou oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky a u vznětových motorů pak pevné částice. Kromě zmíněných látek se sleduje i množství oxidu uhličitého, to však není normou nijak limitováno. Měření se provádí za celkovou ujetou vzdálenost, ale výsledky emisí jsou v Evropě uváděny v gramech na kilometr, v USA pak v gramech na míli.

Aby bylo možné objektivně posoudit skutečné množství škodlivých látek ve výfukových plynech, využívá se metoda systému odběru vzorku plynů s konstantním objemem, která bývá také označována zkratkou CVS (Constant Volume Sampling). Tento systém spočívá v nepřetržitém ředění výfukových plynů vozidla okolním vzduchem za řízených podmínek. Při použití této metody musí být splněny dvě základní podmínky: musí být naměřen celkový objem směsi výfukových plynů a ředícího vzduchu a přiměřený vzorek tohoto objemu musí být nepřetržitě odebírán pro analýzu. Množství znečišťujících látek se stanoví z koncentrací vzorku přepočtených na obsah znečišťujících látek v okolním vzduchu a z úhrnného průtoku po dobu zkoušky. Směs plynu a vzduchu musí být v místě sondy pro odběr plynu homogenní. Vzorky plynů jsou shromažďovány do vaků, které musí být vyrobeny z takových materiálů, aby se obsah znečišťující látky ani po 20 minutách nezměnil o více než $\pm 2 \%$.

		Referenční hmotnost (RW) [kg]	Hmotnost oxidu uhelnatého (CO) [g/km]		Hmotnost uhlovodíků (HC) [g/km]		Hmotnost oxidů dusíku (NO _x) [g/km]		Kombinace hmotností uhlovodíků a oxidů dusíku (HC + NO _x) [g/km]		Hmotnost částic ⁽¹⁾ (PM) [g/km]
Kategorie	Třída		Benzín	Nafta	Benzín	Nafta	Benzín	Nafta	Benzín	Nafta	Nafta
A (2000)	M ⁽²⁾	-	všechny	2,30	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,050
	N ₁ ⁽³⁾	I	RW ≤ 1305	2,30	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,050
		II	1305 ≤ RW ≤ 1760	4,17	0,80	0,25	-	0,18	0,65	-	0,070
		III	1760 ≤ RW	5,22	0,98	0,29	-	0,21	0,78	-	0,100
B (2005)	M ⁽²⁾	-	všechny	1,00	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,025
	N ₁ ⁽³⁾	I	RW ≤ 1305	1,00	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,025
		II	1305 ≤ RW ≤ 1760	1,81	0,63	0,13	-	0,10	0,33	-	0,040
		III	1760 ≤ RW	2,27	0,74	0,13	-	0,11	0,39	-	0,060

⁽¹⁾ Pro vznětové motory

⁽²⁾ Kromě vozidel, jejichž maximální hmotnost přesahuje 2 500 kg

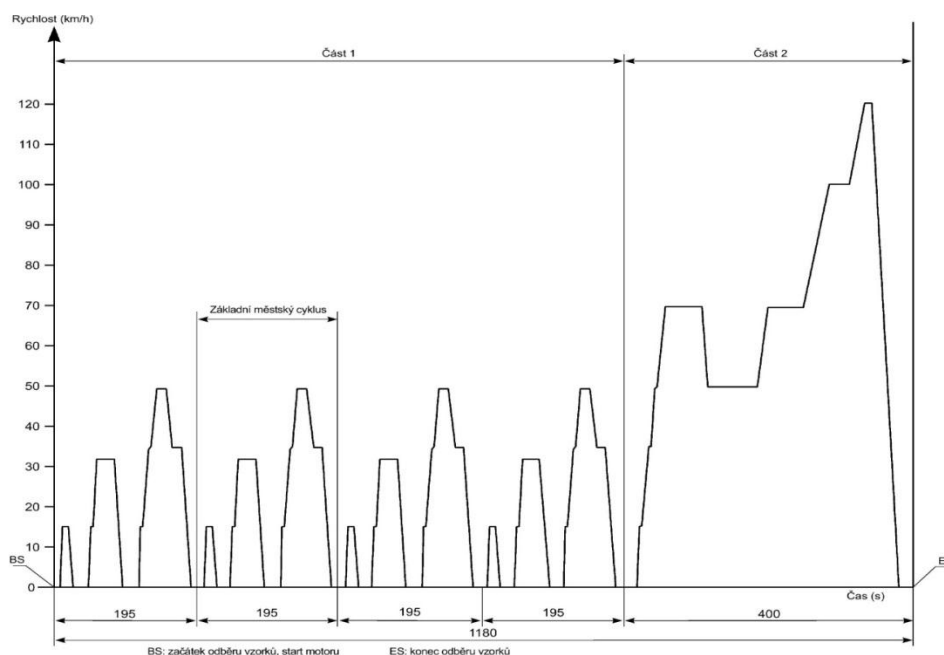
⁽³⁾ A včetně vozidel kategorie M, které jsou uvedeny v poznámce ⁽²⁾

Tab. 1 Mezní hodnoty emisí [2]

2.3 JÍZDNÍ CYKLY

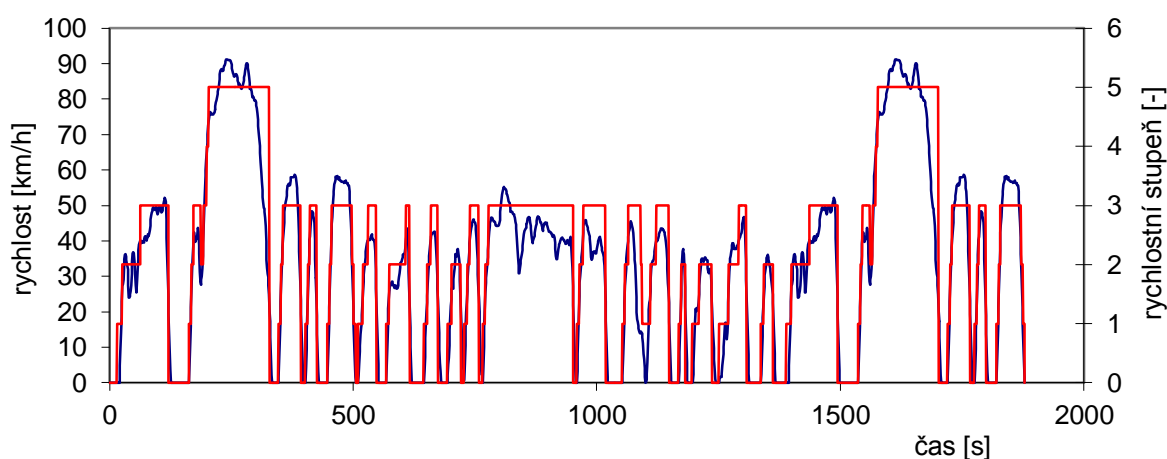
V minulosti bylo na celém světě používáno několik různých druhů jízdních cyklů. V dnešní době se v zásadě využívají jen tři základní podle oblasti jejich uplatnění: evropský jízdní cyklus, americký jízdní cyklus a japonský jízdní cyklus.

V Evropě se od roku 1996 používá tzv. nový evropský jízdní cyklus, který je taktéž označován jako NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) nebo NEDC (New European Driving Cycle). Celý tento cyklus je složen ze dvou částí a vozidlo během testu ujede dráhu dlouhou 11,007 km za 1 180 s. V dřívějších testech se do výsledků nezapočítávala fáze ohřevu motoru, toto však již neplatí a každý test začíná studeným startem motoru. První část simuluje městský provoz, vozidlo během této části absolvuje čtyřikrát za sebou základní městský cyklus, ve druhé části je hned následně simulován mimoměstský provoz. Základní městský cyklus trvá 195 s a vozidlo během něj zrychluje vždy z nulové rychlosti na 15 km/h, 32 km/h a nakonec na 50 km/h. V rámci mimoměstského provozu vozidlo urazí dráhu 6,955 km za 400 s průměrnou rychlostí 62,6 km/h, přičemž maximální rychlost je 120 km/h.



Obr. 2 Evropský jízdní cyklus NEFZ [2]

Obdobně jako je v Evropě používán evropský jízdní cyklus, je na americkém kontinentu využíván americký jízdní cyklus, který se označuje zkratkou FTP - 75. Tento test vznikl ze staršího amerického cyklu FTP - 72 přidáním třetí části, která má naprosto stejnou dobu trvání a rychlostní profil jako první část FTP - 72. Tato fáze však začíná teplým startem motoru vozidla, který se provádí 10 minut po skončení druhé fáze testu. Celý americký cyklus je složen ze tří částí. První část je fáze studeného startu, následuje přechodná fáze a poslední částí je fáze teplého startu. Emise z jednotlivých fází jsou shromažďovány do samostatných vaků. Celý test trvá 1 874 s, během nichž vozidlo ujede dráhu dlouhou 17,77 km průměrnou rychlostí 34,1 km/h.



Obr. 3 Americký jízdní cyklus FTP - 75

Japonský jízdní cyklus bývá označován dovětkem 10 - 15, protože je složen z 10 - režimových a 15 - režimových cyklů. Každý 10 - režimový cyklus trvá 135 s a vozidlo během něj několikrát zrychluje a zpomaluje, čímž je simulována jízda ve městě. Maximální rychlost při tomto testu je 40 km/h, průměrná rychlost je 17,7 km/h. V rámci 15 - režimového cyklu je simulován mimoměstský provoz, kde maximální rychlost vozidla je 70 km/h. Samotný japonský jízdní cyklus 10 - 15 začíná zahříváním motoru jedním 15 - režimovým cyklem, kdy emise ještě nejsou odebrány. Po krátké přestávce následují tři po sobě jdoucí 10 - režimové cykly a jeden 15 - režimový. Celý test i se zahřátím motoru trvá 892 s a vozidlo ujede dráhu 6,34 km průměrnou rychlostí 22,7 km/h.

3 NASTAVENÍ SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU

3.1 SOFTWARE PRO TVORBU SIMULACE JÍZDNÍHO EMISNÍHO CYKLU

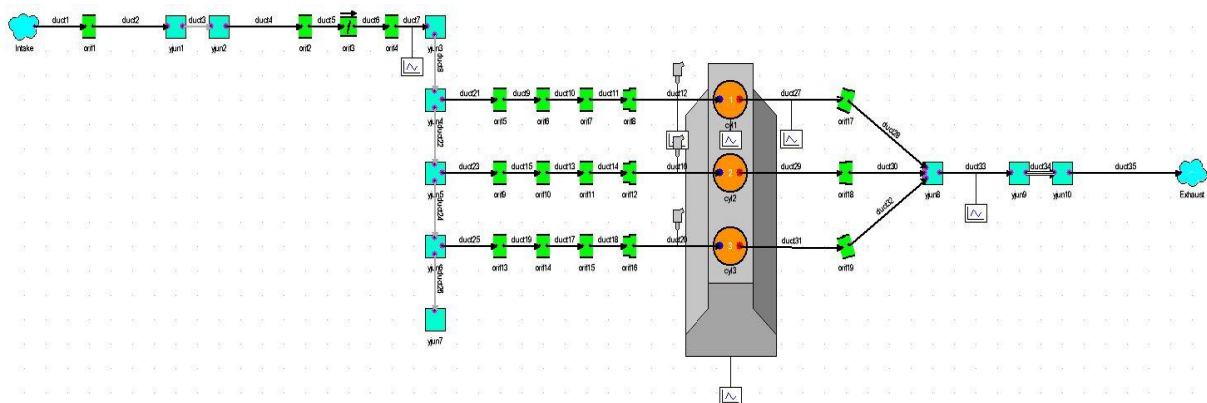
Pro tvorbu simulace jízdního cyklu byl vybrán software Ricardo Wave od společnosti Ricardo. Tento software mi byl po celou dobu zpracování bakalářské práce přístupný v počítačové laboratoři na Katedře vozidel a motorů (TUL) ve verzi 7.1. Označení softwaru Ricardo Wave je pouze zkrácený název pro celou skupinu důležitých programů a modulů, které v sobě obsahuje jako např. WaveBuild, WaveMesher, WavePost, WNOISE a Driveline.

Program WaveBuild je základním prvkem pro veškeré simulace. Uživatel na pracovní plochu tohoto programu vystaví síť z vedení a spojek, čímž jasně určí geometrii motoru vozidla. Dále jsou zde definovány počáteční podmínky a okrajové podmínky pro každý prvek (vstupní tlaky a teploty, teploty stěn, provozní podmínky pro válce motorů, turbíny, kompresory atd.). WaveMesher je jedním z nových nástrojů pro vložení geometrie sítě ve formátu CAD. Tento program velmi usnadňuje výpočty mnoha parametrů sacích a výfukových potrubí, čističů vzduchu a kompletních rozvodů. WavePost je postprocesor, který umožňuje zobrazení výsledků simulací provedených v kterémkoli z programů Wave. Je možné zde zobrazit grafy, jejichž vytvoření jsme zadali již v samotném zadání simulace, nebo zde můžeme z výsledků vytvořit naprosto nové grafy. Veškeré výsledky akustických simulací je poté možné získat v postprocesoru WNOISE. Výsledky je možné buď zobrazit v grafické podobě, nebo vyvolat v rámci zvukového souboru.

V mé bakalářské práci jsem použil pouze část softwaru Ricardo Wave. Pro tvorbu geometrie motoru WaveBuild, modul Driveline pro možnost vytvoření simulačního modelu jízdního cyklu a v neposlední řadě program WavePost pro zobrazení výsledků.

3.2 MODEL MOTORU

Pro simulaci jízdního emisního cyklu bylo vybráno vozidlo Škoda Fabia první generace s tříválcovým motorem 1,2 HTP, o výkonu 40 kW při otáčkách 4 750 za minutu, s označením AWY. Přesná hodnota zdvihového objemu tohoto motoru je $1\,198\text{ cm}^3$, přičemž vrtání je 76,5 mm a zdvih válců 86,9 mm, kompresní poměr motoru je 10,3 : 1. Vozidlo obsahuje jednu z novějších převodovek pro tento model vozidla - pětistupňovou převodovku s označením MQ 200 – 02 T. Škoda Fabia byla pro simulaci vybrána z důvodu velkého množství dostupných informací k tomuto vozidlu. Samotný model motoru byl připravován na Katedře vozidel a motorů, já jsem tento model doplnil a upravil tak, aby vyhovoval mým požadavkům pro vytvoření simulačního modelu. Vytvoření a úpravy modelu motoru je rovněž možné provést podle přehledného, anglicky psaného, manuálu softwaru Ricardo Wave.



Obr. 4 Model tříválcového motoru 1,2 HTP pro Škodu Fabia

Pro simulaci emisí je nutné tuto možnost u modelu motoru zapnout. Toto provedeme dvojitým kliknutím na blok motoru, čímž se zobrazí okno Engine General Panel. Zde se v záložce *spalování* (Combustion) ukrývá další záložka – *emise* (Emissions). Podle toho, které emise zážehového motoru (SI) budeme chtít zobrazit, musíme označit pole *umožnit emisní model* (Enable Emissions Model) v záložkách NO_x , CO a HC. V mé simulaci zvolím všechny emisní modely.

3.3 MODUL DRIVELINE

Protože model motoru vozidla je již hotov a nastaven, téměř všechna nastavení, která se týkají simulačního modelu, budeme provádět v modulu Driveline. Tento modul musíme nejprve u modelu motoru aktivovat, což se provádí v menu Model, kde v záložce *nahrát* (Load) vybereme možnost *přidat Driveline* (Add Driveline). Tímto krokem se v pravém dolním rohu pracovní plochy motoru vytvoří ikona vozidla jedoucího po nakloněné rovině. Pokud na tuto ikonu dvakrát klikneme, spustí se samotné okno modulu Driveline, které je označeno jako Driveline Editor.

V okně Driveline jsou na výběr tři záložky menu: *soubor* (File), *volby* (Options) a *nápověda* (Help). Záložka *soubor* (File) nabízí následující možnosti:

- nový (New) – vytvořit nové nastavení modulu Driveline
- otevřít (Open) – otevřít již vytvořené nastavení modulu Driveline
- otevřít tag (Open Tag) – otevřít již vytvořené nastavení modulu Driveline z jiného typu souboru
- uložit (Save) – uložit aktuální nastavení modulu Driveline
- uložit jako (Save as) – uložit aktuální nastavení modulu Driveline pod vlastním názvem
- zavřít (Close) – zavřít modul Driveline

Standardně se nastavení modulu Driveline ukládá a načítá ze souborů s koncovkou *.drive*.

V rámci záložky *volby* (Options) je možné nastavit následující parametry vozidla:

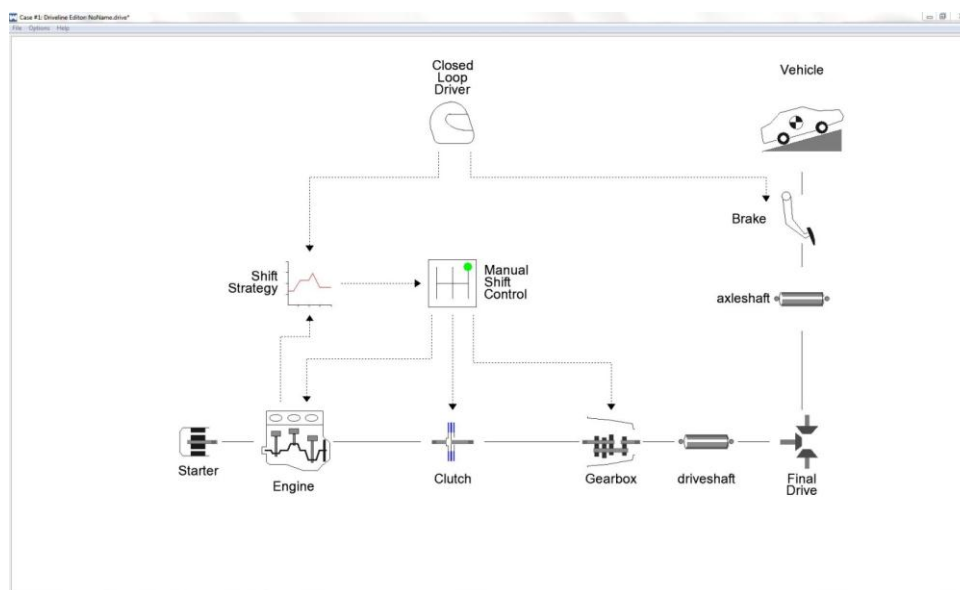
- převodovka (Gearbox) – zde určíme, zda vozidlo bude s manuální převodovkou (Manual Shift) nebo s automatickou převodovkou (Automatic Shift)
- řidič (Driver) – v nastavení chování řidiče můžeme zvolit, zdali bude maximálně zrychlovat (Maximum Acceleration) nebo bude zrychlovat

v závislosti na čase, ale nebude používat brzdy (Open Loop) anebo pojede tak, aby dodržoval rychlost v závislosti na čase nebo vzdálenosti (Closed Loop)

- rozložení hnacího ústrojí (Layout) – zde máme na výběr standardní uložení (Standard), kde je motor a převodovka v přední části vozidla nebo tzv. transaxle (Transaxle), kde je motor umístěn v přední části vozidla a převodovka je vzadu
- nastavení řešení (Solver Settings) – v tomto okně je možná změna časového kroku řešení (Time Step Vote) a vytvoření výstupu RPlot (RPlot Output)

V záložce *nápověda* máme k dispozici pouze jedinou možnost – nápovědu k modulu Driveline (Driveline Help). V anglicky psané nápovědě je možné se dozvědět detailní informace o nastavení modulu Driveline.

Pro mé vozidlo jsem zvolil manuální převodovku a standardní rozložení hnacího ústrojí. Pro simulaci jízdních cyklů je nutné zvolit řidiče, který bude dodržovat rychlost v závislosti na čase nebo vzdálenosti (Closed Loop), protože jiné nastavení chování řidiče neumožňuje používat brzdou. Z tohoto důvodu by jízdní cyklus nebylo možné nasimulovat. Nastavení řešení jsem ponechal na původních hodnotách.



Obr. 5 Okno modulu Driveline

3.4 NASTAVENÍ SPOUŠTĚČE MOTORU

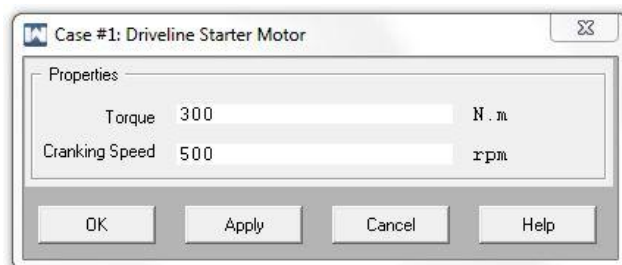


Starter

Parametry spouštěče vozidla se nastavují v okně Driveline Starter Motor, které otevřeme dvojitým kliknutím na ikonu v levém dolním rohu modulu Driveline s názvem Starter. Pro úspěšné vytvoření simulace je zde nutné nastavit pouze dva parametry:

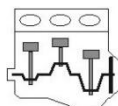
- krouticí moment (Torque) – maximální krouticí moment, který je spouštěč schopen poskytnout
- otáčky klikového hřídele (Cranking Speed) – otáčky klikového hřídele, pod nimiž spouštěč začne pracovat

Hodnotu záběrového krouticího momentu jsem pro mou simulaci zvolil 300 Nm, otáčky klikového hřídele 500 otáček za minutu. Tyto hodnoty jsem převzal z příkladů ze softwaru, protože jiným způsobem nebyly dostupné.



Obr. 6 Okno nastavení spouštěče motoru

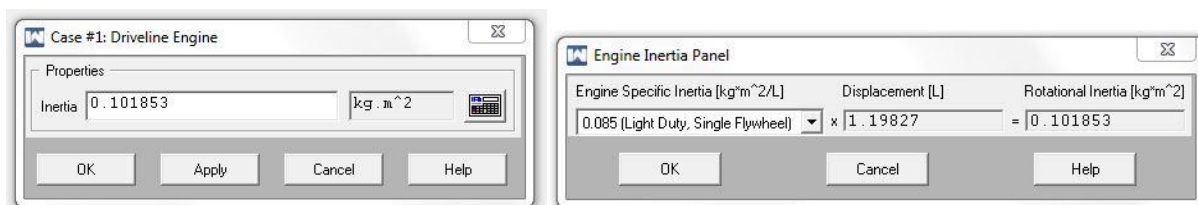
3.5 NASTAVENÍ MOTORU



Engine

Nastavení motoru se provádí v okně Driveline Engine, které spustíme dvojitým kliknutím na ikonu motoru s názvem Engine. Zde se motor nastavuje již pouze jednou hodnotou, kterou je moment setrvačnosti. Ostatní parametry a nastavení motoru jsou již obsaženy v modelu motoru. Moment setrvačnosti je možné zvolit z připravených tabulek programu kliknutím na ikonu tabulky.

Pro svůj simulační model jsem z tabulek programu zvolil motor pro běžný provoz s jedním setrvačníkem (Light Duty, Single Flywheel), což přineslo specifickou hodnotu momentu setrvačnosti motoru $0,085 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{l}$, která po vynásobení objemem motoru vytvořila výsledný moment setrvačnosti použitý pro simulaci $0,101853 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Vše bylo vypočteno samotným softwarem.



Obr. 7 Okna nastavení motoru

3.6 NASTAVENÍ SPOJKY

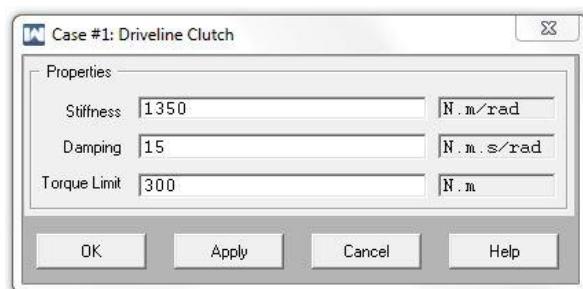


Clutch

Nastavení spojky se provádí v okně s názvem Driveline Clutch. Toto okno otevřeme dvojitým kliknutím na ikonu spojky (Clutch). V rámci nastavení spojky je nutné určit následující parametry:

- tuhost (Stiffness)
- tlumení kmitů (Damping)
- maximální točivý moment (Torque Limit)

Nastavení spojky jsem provedl podle příkladů uvedených v softwaru. Tuhost spojky jsem proto nastavil $1\,350 \text{ Nm/rad}$, tlumení kmitů $15 \text{ Nm}\cdot\text{s/rad}$ a maximální točivý moment 300 Nm .



Obr. 8 Okno nastavení spojky

3.7 NASTAVENÍ PŘEVODOVKY



Nastavení převodovky se provádí v okně Driveline Gearbox. Toto okno otevřeme dvojitém kliknutím na ikonu převodovky (Gearbox). Pro každý převodový stupeň je nutné nastavit následující parametry:

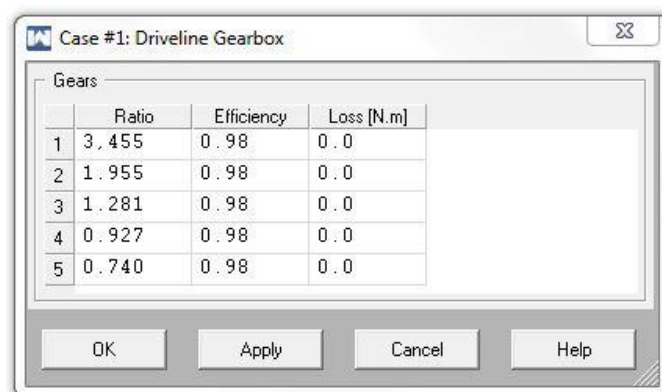
- převodový poměr (Ratio)
- účinnost (Efficiency)
- ztráty (Loss)

Na počátku nám modul Driveline nabízí čtyři převodové stupně, pokud pro simulaci potřebujeme přidat další, klikneme pravým tlačítkem myši na některé z čísel v prvním sloupci tabulky a zvolíme *přidat řádek před* (Insert Row Before) nebo *přidat řádek za* (Insert Row After). Na výběr máme také *smazat řádek* (Delete Row), *kopírovat tabulku* (Copy Table) a *vložit tabulku* (Paste Table). Tabulku můžeme vložit, pokud ji máme již předem připravenou v nějakém jiném souboru, označili jsme ji a zvolili možnost kopírovat.

Převodové poměry pro vozidlo Škoda Fabia s převodovkou MQ 200 – 02 T jsou uvedeny v Tab. 2. Hodnota účinnosti pro každý převodový stupeň byla v mé simulaci zvolena 0,98. Ztráty byly zvoleny 0 Nm.

Převodový stupeň	1	2	3	4	5
Převodové číslo	3,455	1,955	1,281	0,927	0,740

Tab. 2 Převodová čísla – Škoda Fabia 1,2 HTP s převodovkou MQ 200 – 02 T [5]



Obr. 9 Okno nastavení převodovky

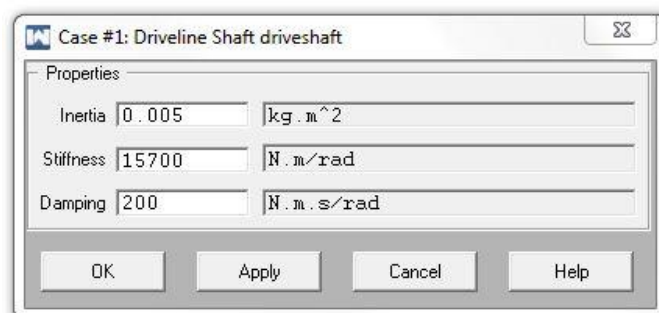
3.8 NASTAVENÍ HNACÍHO HŘÍDELE



Nastavení hnacího hřídele je možné udělat v okně Driveline Shaft driveshaft. Toto okno spustíme dvojitým kliknutím na ikonu hnacího hřídele (Driveshaft). Je nutné nastavit následující parametry:

- moment setrvačnosti (Inertia)
- tuhost (Stiffness)
- tlumení kmitů (Damping)

Z důvodu špatné dostupnosti těchto údajů vozidla bylo zvoleno nastavení hnacího hřídele podle příkladů uvedených v softwaru. Moment setrvačnosti byl tedy zvolen $0,005 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, tuhost byla zvolena $15\,700 \text{ Nm/rad}$ a tlumení kmitů $200 \text{ Nm}\cdot\text{s/rad}$.



Obr. 10 Okno nastavení hnacího hřídele

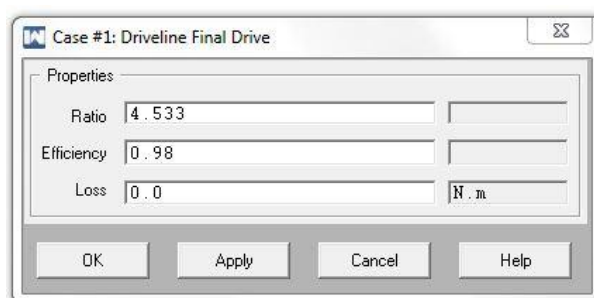
3.9 NASTAVENÍ ROZVODOVKY



Nastavení rozvodovky provedeme dvojitým kliknutím na ikonu kuželového soukolí s nápisem Final Drive, čímž se zobrazí okno Driveline Final Drive. Zde je třeba nastavit následující parametry:

- převodový poměr (Ratio)
- účinnost (Efficiency)
- ztráty (Loss)

Pro vozidlo Škoda Fabia 1,2 HTP se udává převodový poměr rozvodovky 4,533 [4]. Účinnost převodu jsem, stejně jako u převodovky, zvolil 0,98. Ztráty budu uvažovat nulové.



Obr. 11 Okno nastavení rozvodovky

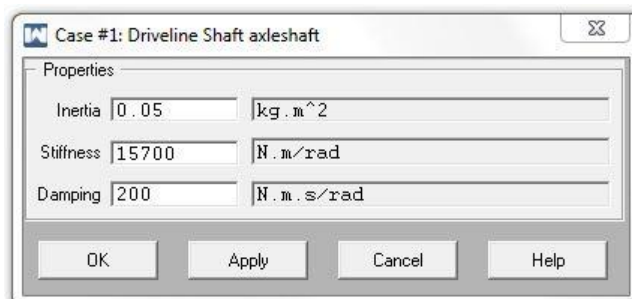
3.10 NASTAVENÍ POLOOS



Nastavení poloos provádíme dvojitým kliknutím na ikonu s názvem Axleshaft, čímž se spustí okno nazvané Driveline Shaft axleshaft, kde je nutné zadat následující parametry poloos vozidla:

- moment setrvačnosti (Inertia)
- tuhost (Stiffness)
- tlumení kmitů (Damping)

Stejně jako u nastavení hnacího hřídele bylo i nastavení poloos zvoleno podle příkladů uvedených v softwaru. Moment setrvačnosti byl zvolen $0,05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, tuhost $15\,700 \text{ Nm/rad}$ a tlumení kmitů $200 \text{ Nm}\cdot\text{s/rad}$.



Obr. 12 Okno nastavení poloos vozidla

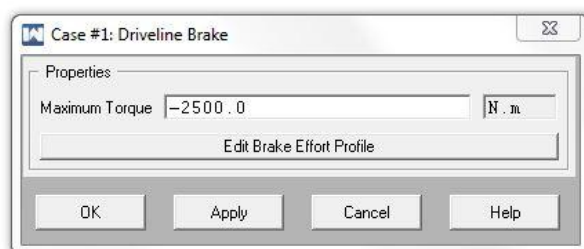
3.11 NASTAVENÍ BRZD



Brake

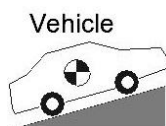
V rámci nastavení brzd je nutné vložit pouze jedinou hodnotu - maximální brzdný moment (Maximum Torque). Toto provedeme v okně Driveline Brake, které spustíme dvojitým kliknutím na ikonu brzdového pedálu s nápisem Brake. Tlačítkem *upravit profil brzdného účinku* (Edit Brake Effort Profile) je zde možné zadat brzdný účinek v závislosti na rychlosti vozidla.

Pro mou simulaci jsem ponechal hodnotu brzdného momentu, kterou přednastavil program, tedy -2500 Nm . Tato hodnota však není důležitá, protože jízdní cyklus bude určen rychlostí vozidla v závislosti na čase a určitě zde nebude použit maximální brzdný účinek.



Obr. 13 Okno nastavení brzd

3.12 NASTAVENÍ VOZIDLA

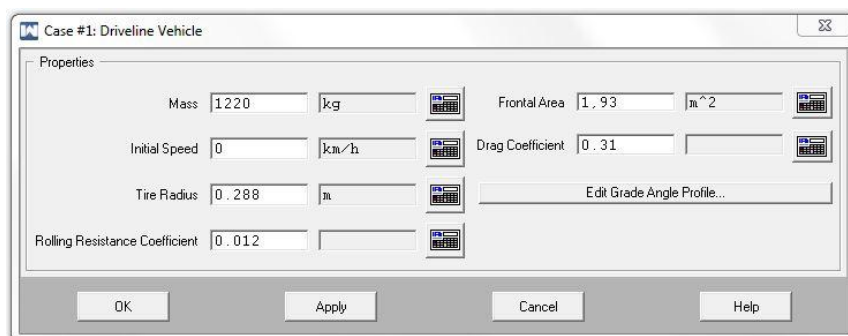


Nastavení parametrů vozidla se provádí v okně Driveline Vehicle. Toto okno otevřeme dvojitým kliknutím na ikonu vozidla na nakloněné rovině, nad vozidlem se nachází nápis Vehicle. U většiny parametrů v tomto okně máme na výběr, zdali zadáme přesnou hodnotu nebo si vybereme hodnotu z připravených tabulek. Tyto tabulky je možné zobrazit kliknutím na ikonu tabulky, která se nachází vedle daného parametru. Po otevření se zobrazí rolovací menu, kde jsou podle druhu vozidla přednastavené hodnoty. U volby poloměru pneumatik taktéž můžeme zadat *šířku pneumatiky* (Width), *profilové číslo* (Profile) a *průměr ráfku* (Rim Diameter) a program sám dopočítá poloměr pneumatiky.

Jednotlivé parametry, které se v tomto okně nastavují:

- hmotnost vozidla (Mass)
- počáteční rychlost (Initial Speed)
- poloměr pneumatiky (Tyre radius)
- odpor valení (Rolling Resistance Coefficient)
- čelní plocha (Frontal Area)
- součinitel odporu vzduchu (Drag Coefficient)
- úhel stoupání (tlačítko Edit Grade Angle Profile)

Pro Škodu Fabia 1,2 HTP se udává pohotovostní hmotnost 1 055 – 1 145 kg [5] podle stupně výbavy. Pro simulaci jsem zvolil vozidlo s nejvyšší výbavou a k této hodnotě připočetl hmotnost řidiče 75 kg. Hmotnost vozidla v simulaci je tedy 1 220 kg. Na vozidle je možné použít několik různých rozměrů pneumatik, má volba padla na pneumatiky 195/50 R 15 [5]. Šířku pneumatik jsem tedy zadal 195 mm, profilové číslo 50 % a průměr ráfku 15 palců, program mi sám vypočetl poloměr pneumatiky 0,288 m. Odpor valení jsem zvolil 0,012, což odpovídá jízdě po asfaltu. Čelní plocha Škody Fabia se udává 1,93 m², součinitel odporu vzduchu je pak 0,31 [6]. Počáteční rychlost vozidla jsem ponechal nulovou a úhel stoupání během celé dráhy taktéž.

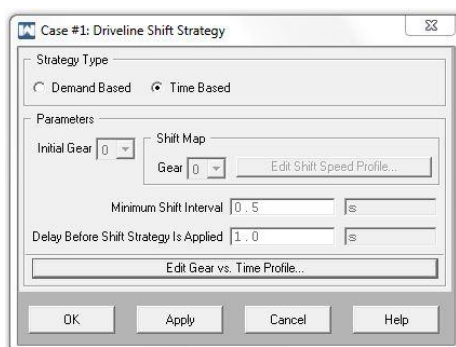


Obr. 14 Okno nastavení vozidla

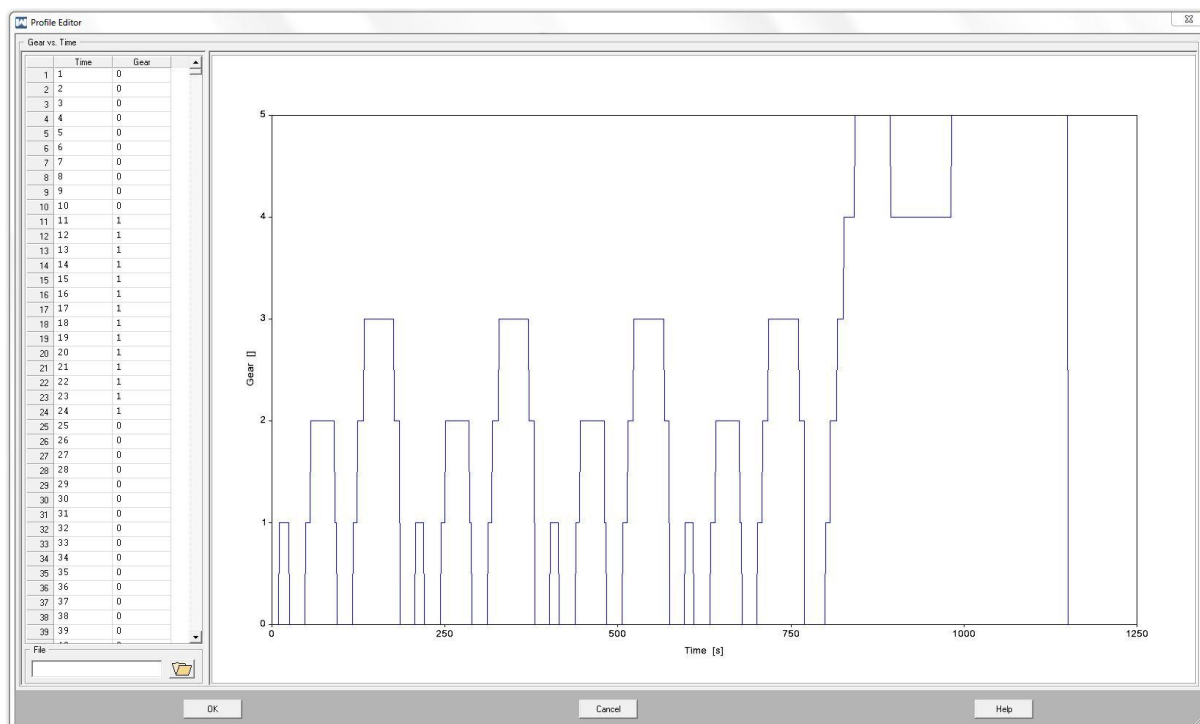
3.13 NASTAVENÍ STRATEGIE ŘAZENÍ



Pro nastavení strategie řazení dvojitě klikneme na ikonu grafu s názvem Shift Strategy. Tímto se nám otevře okno pojmenované jako Driveline Shift Strategy. Zde máme v části *typ strategie* (Strategy Type) na výběr dvě možnosti – *na základě požadavku* (Demand Based), kde pro každý rychlostní stupeň zadáváme otáčky motoru, při kterých řidič přeřadí na jiný rychlostní stupeň, a *na základě času* (Time Based), kde zadáváme závislost rychlostních stupňů na času testu. V našem případě vybereme *na základě času* (Time Based), abychom definovali jízdní cyklus. Po zvolení této strategie je k dispozici jediné tlačítko – *upravit profil rychlostních stupňů v závislosti na času* (Edit Gear vs. Time Profile). Po kliknutí na toto tlačítko se otevře nové okno - Profile Editor. Nyní si musíme v jakémkoliv tabulkovém procesoru otevřít hodnoty rychlostních stupňů spolu s časem testu pro náš jízdní cyklus, označit je a vybrat možnost kopírovat. V tuto chvíli se přepneme zpět do modulu Driveline do okna Profile Editor, klikneme pravým tlačítkem myši na číslo v prvním sloupci tabulky a zvolíme možnost *vložit tabulku* (Paste Table). Pro svou simulaci jsem zvolil evropský jízdní cyklus NEFZ.



Obr. 15 Okno nastavení strategie řazení



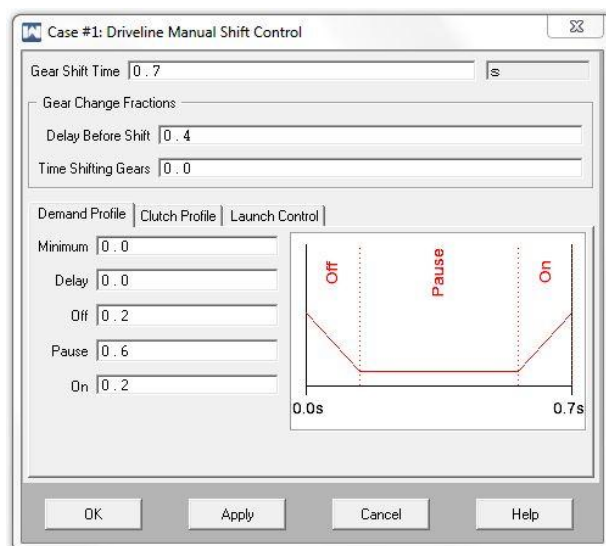
Obr. 16 Okno editoru profilu rychlostního stupně v závislosti na času – evropský jízdní cyklus NEFZ

3.14 NASTAVENÍ OVLÁDÁNÍ MANUÁLNÍHO ŘAZENÍ



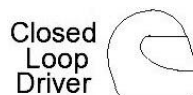
Nastavení ovládání manuálního řazení můžeme udělat v okně nazvaném Driveline Manual Shift Control, které spustíme dvojitým kliknutím na zjednodušenou ikonu řadicí páky s nápisem Manual Shift Control. Toto okno obsahuje tři základní parametry – *celkovou dobu řazení převodového stupně* (Gear Shift Time), *prodlevu před řazením* (Delay Before Shift) a *čas řazení převodu vozidlem* (Time Shifting Gears). Dále obsahuje několik záložek, kde se nastavuje *požadovaný profil řazení* (Demand Profile), *profil spojky* (Clutch Profile) a *pomocník rozjezdu* (Launch Control). V záložkách profilů je vždy nutné nastavit *minimální čas* (Minimum), *prodlevu* (Delay), *dobu vypnutí* (Off), *pauzu* (Pause) a *dobu zapnutí* (On).

Pro simulaci jsem veškeré nastavení manuálního řazení ponechal tak, jak jej nabízí software. Celkový čas řazení je tedy 0,7 s s prodlevou před řazením 0,4 s. Čas řazení převodu vozidlem budu uvažovat nulový.



Obr. 17 Okno nastavení parametrů manuálního řazení

3.15 NASTAVENÍ CHOVÁNÍ ŘIDIČE



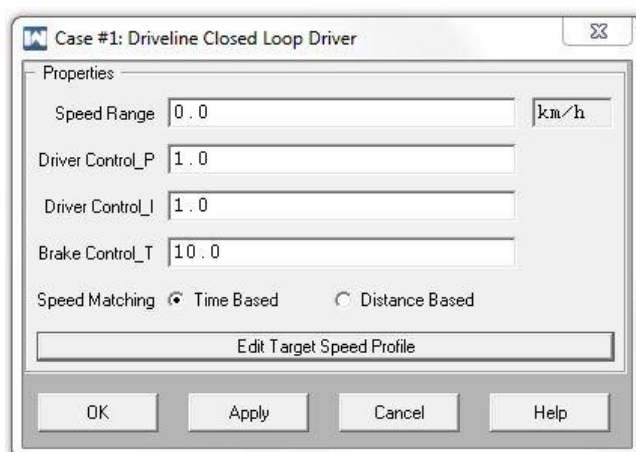
Nastavení chování řidiče je možné udělat v okně Driveline Closed Loop Driver, které spustíme dvojitým kliknutím na ikonu přilby s nápisem Closed Loop Driver. V okně je možné nastavit:

- rychlostní rozsah (Speed Range) – není důležitý parametr, v mém příkladu ponechám hodnotu 0 km/h
- ovládání zrychlení (Driver_Control_P) – v rozsahu od 0 do 1.0, kde 1.0 reprezentuje maximální zrychlení, zpravidla 1.0
- konstanta poměrné části ovládání vozidla řidičem (Driver_Control_I) – obvykle se ponechává 1.0
- konstanta času zapojení brzd (Brake_Control_T) – čím větší tato konstanta je, tím více je v simulaci kladen důraz na zapojení brzd, optimální hodnota je 10.0

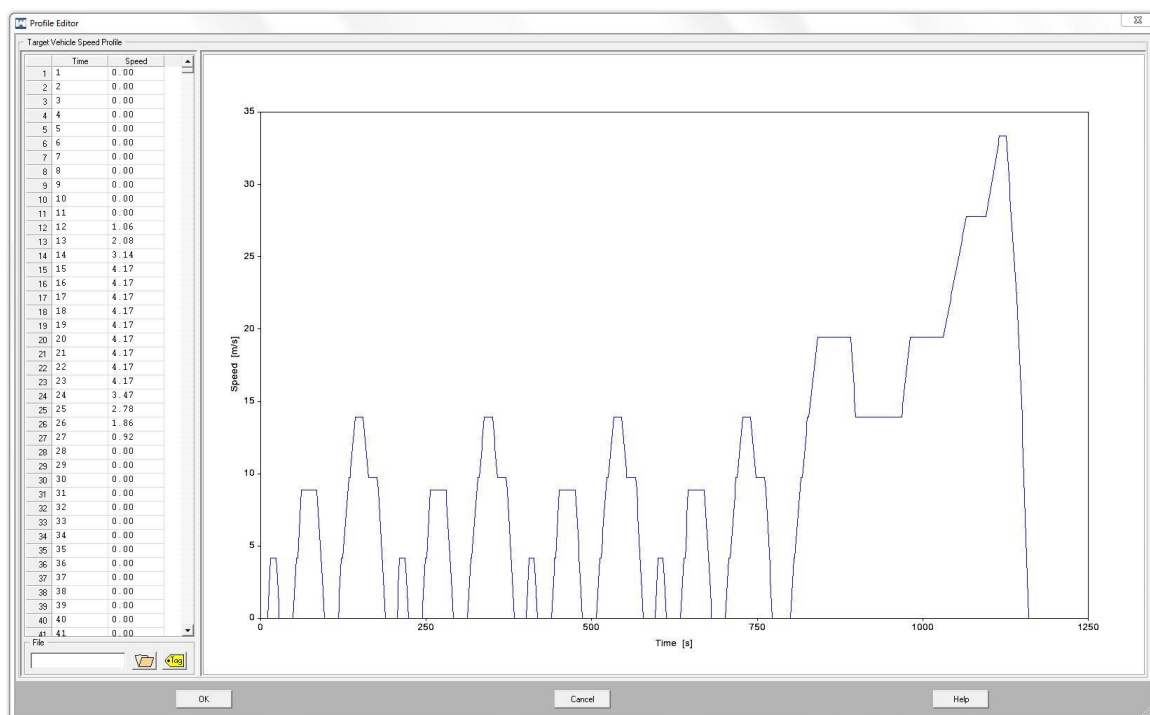
Dále se musíme rozhodnout, zdali řidič bude přizpůsobovat rychlost (Speed Matching) času (Time Based) nebo vzdálenosti (Distance based). Pro definici jízdního cyklu se zde musíme rozhodnout pro možnost přizpůsobení rychlosti času testu. Zadávání profilu průběhu rychlosti v závislosti na času nebo vzdálenosti, s ohledem na to, jak jsme se rozhodli v předchozí volbě, se provádí pomocí tlačítka *změnit profil rychlosti* (Edit Target Speed Profile).

Nastavení se provádí stejně jako nastavení profilu řazení – v tabulkovém procesoru si otevřeme tabulku hodnot rychlostí a času testu, celou ji označíme, zvolíme kopírovat a nyní se přepneme zpět do modulu Driveline, klikneme pravým tlačítkem myši na číslo v prvním sloupci tabulky a zvolíme *vložit tabulku* (Paste Table). Rychlost v modulu Driveline je udávána v metrech za sekundu, proto musíme tuto jednotku dodržet i v případě zadávání profilu rychlosti.

Pro mou simulaci jsem ponechal číselné hodnoty původní a zvolil jsem možnost přizpůsobení rychlosti času testu tak, abych mohl zadat jízdní cyklus. Do profilu rychlosti v závislosti na času testu jsem vložil hodnoty pro evropský jízdní cyklus NEFZ.



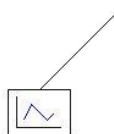
Obr. 18 Okno nastavení chování řidiče



Obr. 19 Okno editoru profilu rychlosti v závislosti na čase testu – evropský jízdní cyklus NEFZ

3.16 NASTAVENÍ GRAFŮ V DRIVELINE

Pro vytvoření některých grafů je nutné nastavit vytvoření těchto grafů v modulu Driveline. Mezi tyto grafy patří například vzdálenost ujetá vozidlem, průběh akcelerace vozidla, průběh brzdění vozidla, rychlost vozidla v rámci testu, hodnoty zařazených rychlostních stupňů, atd. Nastavení provedeme pravým kliknutím na jakoukoliv ikonu v modulu Driveline a z nabídky vybereme *upravit grafy* (Edit Plots). V rámci každé ikony je možné nastavit různé grafy. Dále klikneme na ikonu *přidat* (Add) a zvolíme veličinu, kterou bude graf zobrazovat (Plot Type). Nakonec zvolíme vzorkovací metodu (Sampling Method) – jestli graf bude určen *automaticky* (Automatic), na *základě času* (Time Based), *cyklicky* (Cyclic), nebo pouze *posledním cyklem* (Last Cycle). Pokud vše nastavíme správně, v Driveline se zobrazí ikona, která značí, že bude vytvořen graf.



Obr. 20 Ikona nastaveného grafu

4 PROVEDENÍ SIMULACE A ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ

4.1 NASTAVENÍ MAPY OTÁČEK MOTORU

Pro úspěšné provedení simulace je dále nutné nastavit otáčky motoru v souvislosti s požadovaným zatížením motoru. Toto provedeme v programu WaveBuild v menu model – *nastavení simulace na základě mapy* (Map Based Simulation Setup). V prvním sloupci nově otevřené tabulky je *zatížení motoru* (Engine Demand), v druhém pak *otáčky motoru za minutu* (Engine Speed). Údaje se do tabulky zadávají vložením *minimální hodnoty parametru* (Min), *maximální hodnoty parametru* (Max) a *kroku, se kterým se bude parametr zvyšovat* (Step). Oba sloupce musí obsahovat stejný počet řádků, jinak bude simulace provedena nesprávně.

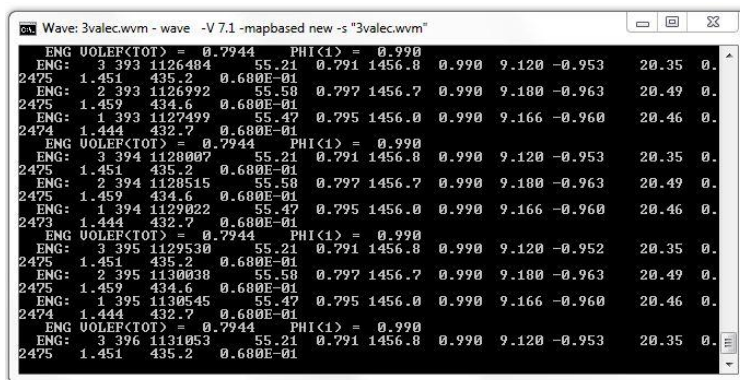
Zde jsem ve sloupci požadovaného zatížení motoru nastavil minimální hodnotu 0, krok 0,1 a maximální hodnotu 1. Do sloupce s otáčkami motoru jsem vložil minimální hodnotu 500, krok 500 a maximální otáčky motoru 5 500 otáček za minutu.

	Engine Demand	Engine Speed
Type	ExtPin	Speed
Connected To	engine_demand	Crank Shaft
Units		rev/min
Method	Interpolate	Interpolate
Min	0.0	500
Step	0.1	500
Max	1	5500
Tolerance	0.001	5
Grid Values: 1	0	500
2	0.1	1000
3	0.2	1500
4	0.3	2000
5	0.4	2500
6	0.5	3000

Obr. 21 Okno nastavení mapy otáček

4.2 PROVEDENÍ SIMULACE

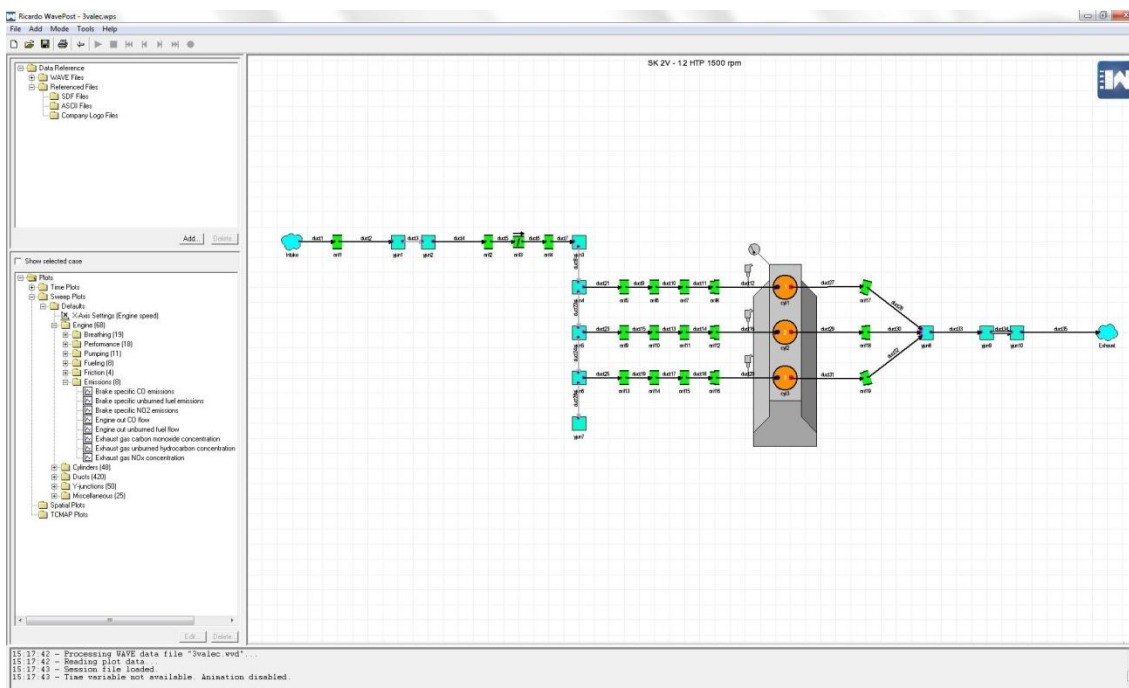
Před provedením simulace je dále nutné nastavit počet cyklů motoru, který bude nasimulován. Toto provedeme v nastavení konstant, které se nachází v menu Simulation – Constants – Table. Konstanta počtu cyklů bývá v modelech obvykle pojmenována *ncycl*, pro projetí evropského jízdního cyklu by nám měla postačovat hodnota 70 000, pro projetí amerického jízdního cyklu pak potřebujeme přibližně 100 000. Dále ještě pro projetí jízdního cyklu musíme vypnout detekci konvergence, což provedeme v menu Simulation – General Parametres, kde v záložce Convergence musíme vypnout zatržení pole Convergence Detection. Samotnou simulaci spustíme v menu Run – WAVE – Screen Mode tak, aby výpočet probíhal zobrazen na obrazovce. Simulaci je taktéž možné spustit ikonou v panelu nástrojů. Výpočet je poměrně časově náročný – simulace základního městského cyklu (195 s) evropského jízdního cyklu trvala přibližně 5 - 6 hodin, mimoměstská část (400 s) stejného cyklu pak přibližně 7 - 8 hodin.



Obr. 22 Okno průběhu simulace

4.3 ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ

Po úspěšném provedení simulace veškeré výsledky zobrazíme v programu WavePost, který otevřeme v menu Run – WavePost nebo pomocí ikony, která je umístěna v panelu nástrojů.

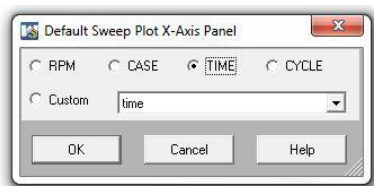


Obr. 23 Pracovní prostředí programu WavePost

U mnoha modelů motorů je již zobrazení různých druhů grafů přednastaveno, pokud tomu tak není, můžeme si vytvořit grafy vlastní.

Přednastavené grafy máme na výběr v levé dolní části programu. Jsou rozděleny na dvě skupiny – časové grafy (Time Plots) zobrazují veškeré veličiny v závislosti na čase a tzv. sweep plots, což jsou grafy, kde můžeme veličinu na ose X měnit. Ve složce časových grafů si můžeme prohlédnout grafy, jejichž zobrazení jsme si nastavili v modulu Driveline (např. rychlost vozidla, akcelerace vozidla, průběh zařazených rychlostních stupňů a průběh brzdění). V rámci sweep plots můžeme zobrazit námi požadovaný průběh emisí. Abychom zobrazili emise v závislosti na čase, musíme nejprve toto zobrazení nastavit dvojitým kliknutím na ikonu *nastavení osy X* (X – Axis Settings (Engine Speed)), která se nachází ve skupině Sweep Plots. Tímto se otevře okno, kde je nutné nastavit jako parametr osy

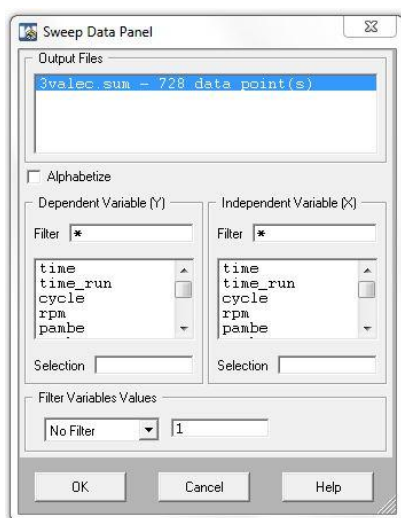
X čas (TIME). Dále je možné mít na ose X tyto parametry: *otáčky motoru* (RPM), *jednotlivé případy simulace* (CASE) a *cyklus* (CYCLE).



Obr. 24 Okno nastavení osy X grafů

Jednotlivé grafy otevřeme dvojitým kliknutím na název příslušného grafu. Dále je možné jejich vzhled upravovat dvojitým kliknutím na různé části – název grafu, osy, samotná křivka grafu. Při poklepání na osy grafu je taktéž možné změnit jednotky, které jsou na osách zobrazovány.

Pokud nemáme tvorbu grafů přednastavenou a potřebujeme je vytvořit, opět si otevřeme WavePost. Zde kliknutím pravým tlačítkem myši na složku Sweep Plots a výběrem *přidat sweep plot* (Add Sweep Plot) – *2D graf* (2D Plot) vytvoříme nový graf. Data nyní přidáváme v menu *přidat* (Add) – *data* (Data), čímž se otevře okno nazvané Sweep Data Panel. Zde si z nabídky vybereme *nezávislou proměnnou* (Independent Variable (X)) a na ní *závislou proměnnou* (Dependent Variable(Y)), pro které chceme vytvořit graf. Po potvrzení tlačítkem OK je nový graf hotov.



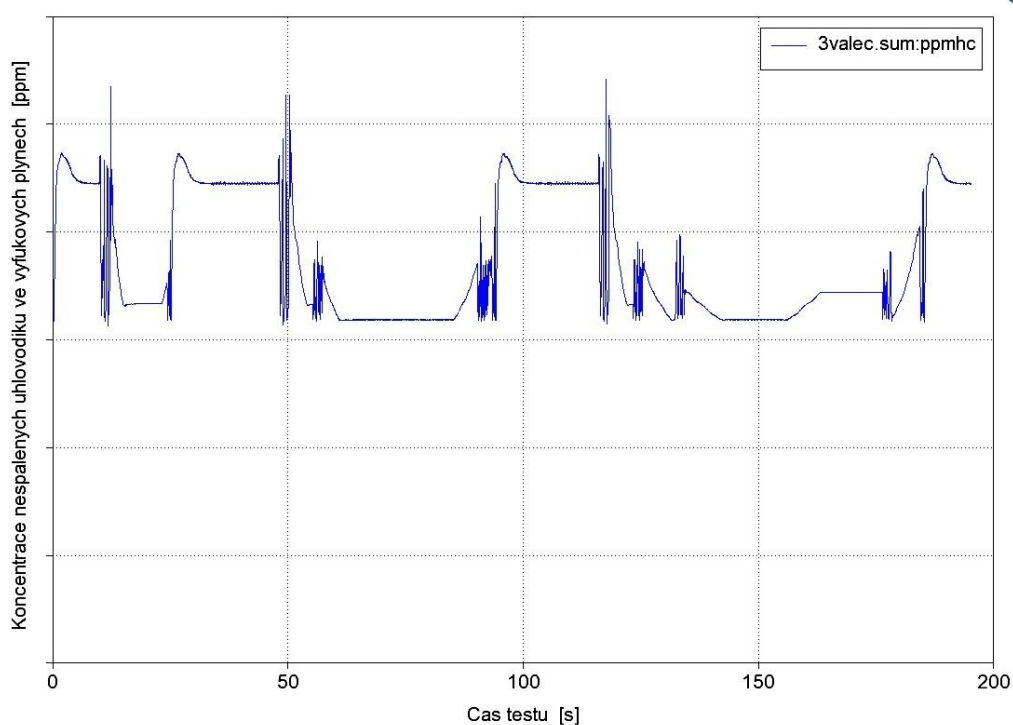
Obr. 25 Okno vložení dat do nového grafu

V mém modelu motoru bylo vytvoření grafu již přednastavené, proto jsem si tyto grafy otevřel ve složce Sweep Plots – Engine – Emissions a zde jsem si zvolil grafy koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech (Exhaust gas carbon monoxide concentration), koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech (Exhaust gas unburned hydrocarbon concentration) a graf koncentrace NO_x ve výfukových plynech (Exhaust gas NO_x concentration).

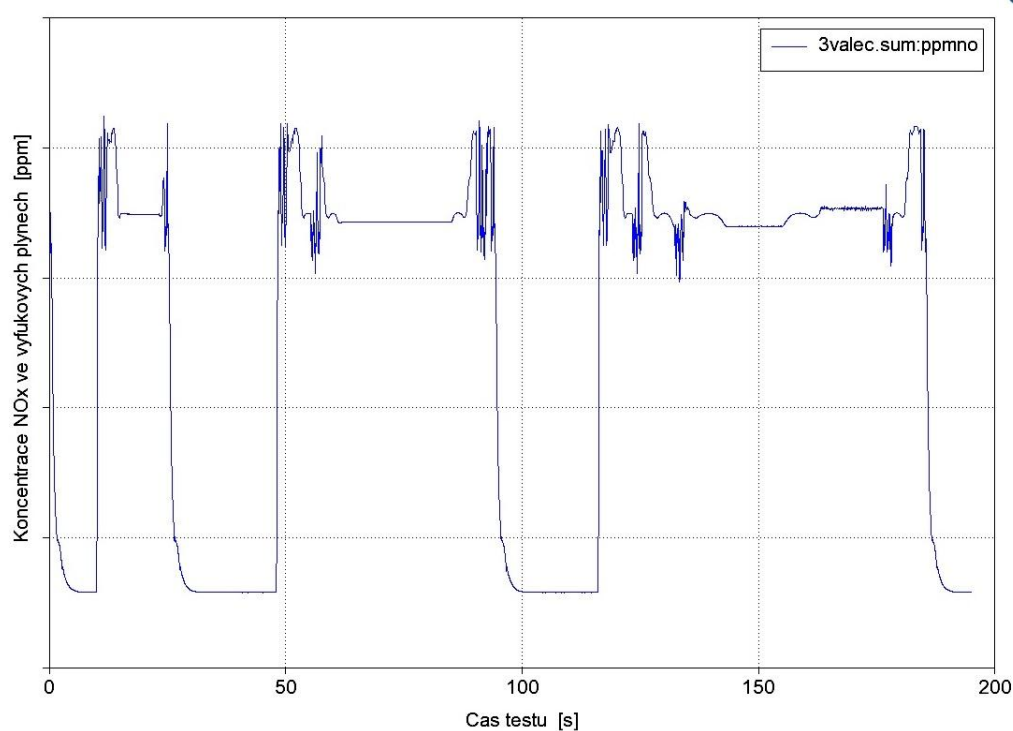
Pokud bych vytvoření grafů neměl přednastavené, musel bych vytvořit tři nové grafy. Všechny by měly stejnou nezávislou proměnnou – čas (time) a závislé proměnné by byly koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech (v nabídce jako ppmco), koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech (v nabídce jako ppmhc) a koncentrace NO_x ve výfukových plynech (v nabídce jako ppmno).

Pro větší přehlednost výsledků a zrychlení simulace zobrazím pouze jeden městský cyklus (doba trvání 195 s), který se v evropském emisním testu čtyřikrát opakuje, a mimoměstský cyklus (doba trvání 400 s). Absolvoval jsem několik konzultací s Ing. Jiřím Navrátillem ze společnosti Ricardo, kde jsem se dozvěděl, že není možné absolutní hodnoty emisí považovat za správné, ale je nutné sledovat pouze jejich průběh. Proto na ose Y tyto hodnoty ani nebudu zobrazovat.

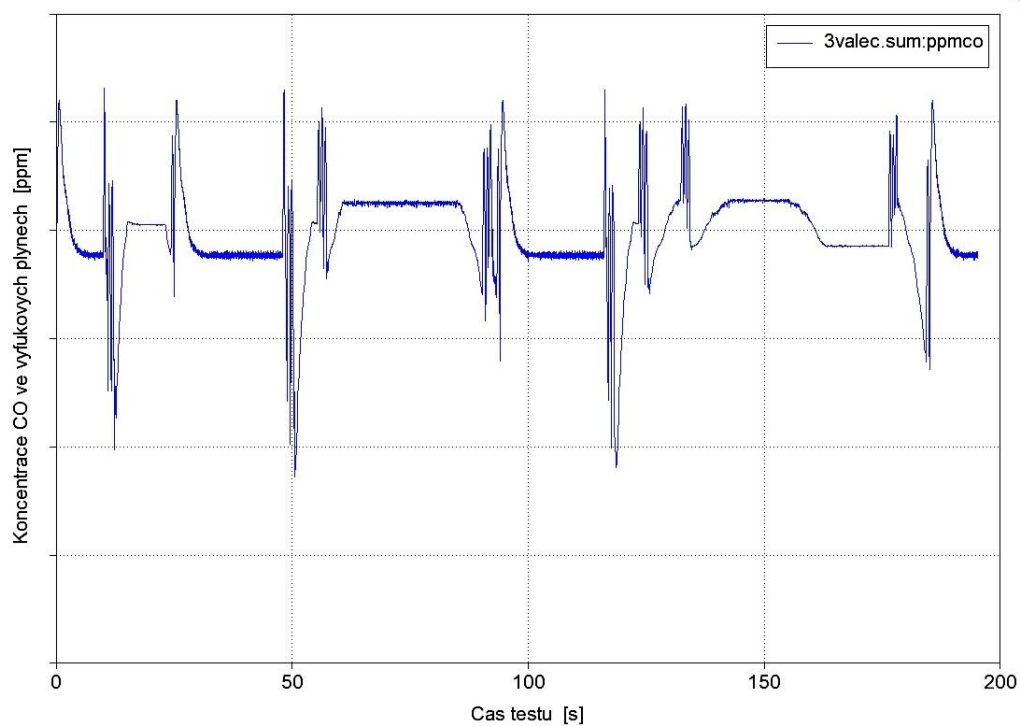
Dále mi na konzultacích bylo doporučeno využívat k simulacím nejnovější software - Ricardo Wave verze 8.4, protože obsahuje několik novinek, které by měly vést ke zjednodušení nastavení a celkovému usnadnění simulace. Starší verze, se kterou jsem měl možnost pracovat, obsahuje několik chyb, které už jsou v novějších verzích odstraněny. Také nápověda novějších verzí doznala významných změn a je zde možné najít mnohem více informací a návodů. V současné době se pro simulaci jízdních emisních cyklů nejvíce používají kosimulace s programy Matlab Simulink nebo Easy 5. Nevýhodou těchto simulací však je jejich doba trvání, když projetí evropského jízdního cyklu může trvat i dva dny. Tuto nevýhodu je možné odstranit novým softwarem WAVE - RT od společnosti Ricardo, který je schopen s uvedenými programy pracovat v kosimulaci v reálném čase. Další variantou je i využití softwaru V – SIM.



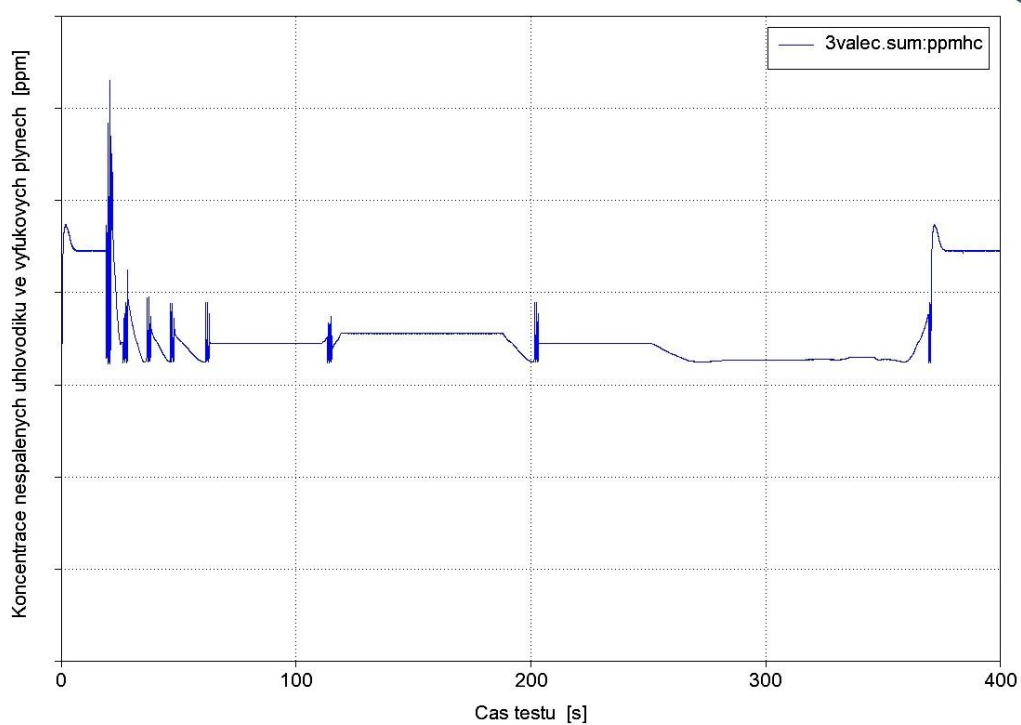
Graf 1 Závislost koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech na čase testu – městský cyklus



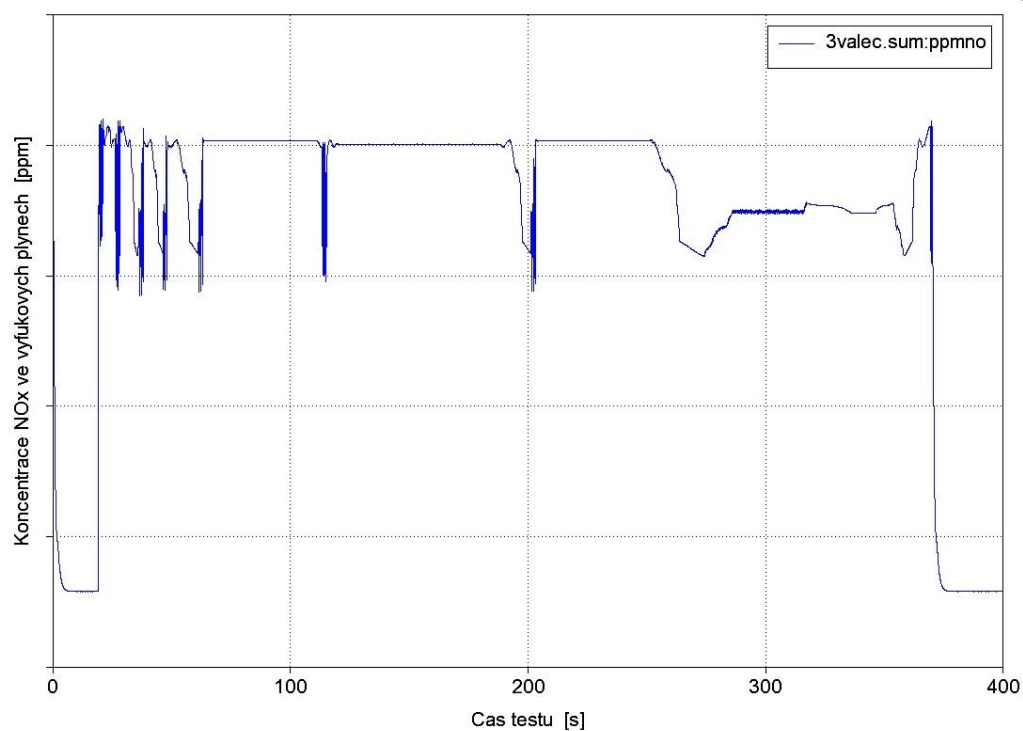
Graf 2 Závislost koncentrace oxidů dusíků ve výfukových plynech v závislosti na čase testu – městský cyklus



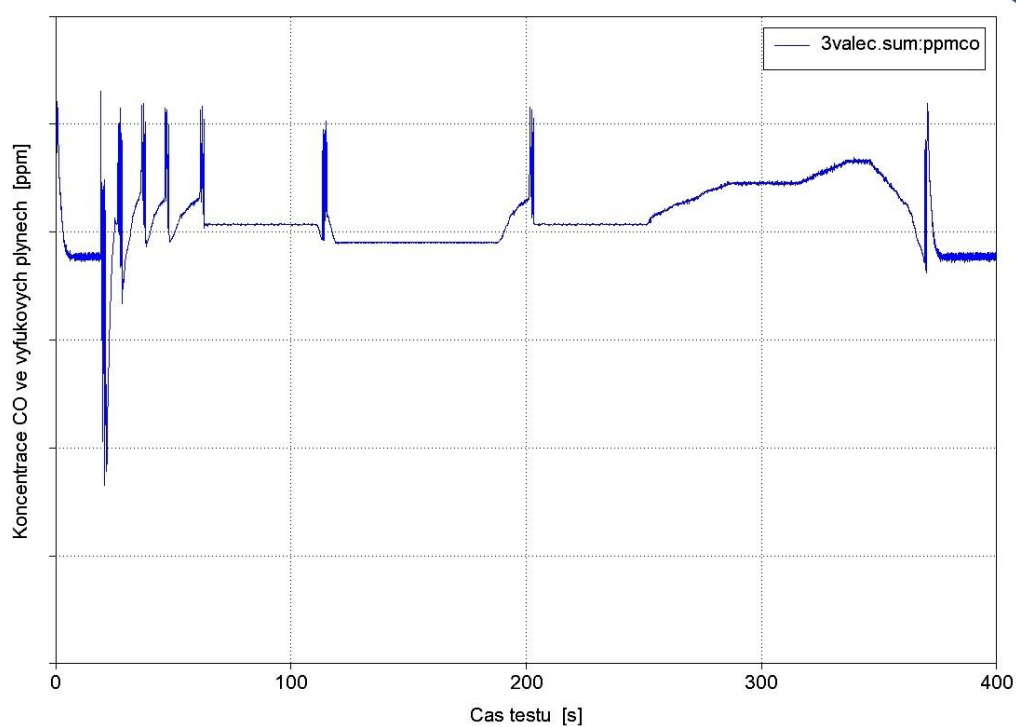
Graf 3 Závislost koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech na času testu – městský cyklus



Graf 4 Závislost koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech na času testu – mimoměstský cyklus



Graf 5 Závislost koncentrace oxidů dusíku ve výfukových plynech na čase testu – mimoměstský cyklus



Graf 6 Závislost koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech na čase testu – mimoměstský cyklus

5 ZÁVĚR

V úvodu bakalářské práce jsem stručně popsal válcovou emisní brzdu a problematiku měření na válcové brzdě zmíněním hlavních bodů z legislativy, které jsou důležité pro provedení emisní zkoušky a neměly by být při těchto testech opomíjeny.

Dále jsem vypracoval podrobný manuál, jak nastavit simulační model v modulu Driveline softwaru Ricardo Wave, který nám slouží k nastavení parametrů vozidla a definici jízdních cyklů. Manuál je proveden slovním popisem daného nastavení vozidla doplněný ilustračními obrázky, které by měly orientaci v programu usnadnit. Pro názornost jsou u jednotlivých nastavení i příklady, které odpovídají nastavení mého jednoduchého modelu, který vychází ze skutečného vozidla. Tímto vozidlem byla Škoda Fabia první generace s tříválcovým motorem 1,2 HTP. Pro toto vozidlo bylo mnoho parametrů dostupných, některé parametry jsem však nebyl schopen nikde dohledat a v tomto případě jsem použil parametry převzaté z příkladů, které software nabízí. Jízdním cyklem, který vozidlo projelo, byl evropský jízdní cyklus. Samotná simulace trvá poměrně dlouhou dobu, proto je výhodné rozdělit jízdní cyklus na stejné úseky (městský a mimoměstský cyklus) a výsledky z těchto úseků posléze spojit dohromady. Simulace městského cyklu v mém případě trvala přibližně pět hodin, simulace mimoměstského pak asi sedm hodin.

V závěru práce je popsáno zobrazení výsledků a jsou zde uvedeny výsledky mého jednoduchého modelu pro jeden městský cyklus a mimoměstský cyklus evropského jízdního cyklu. Zde je třeba zdůraznit, že software Ricardo Wave počítá hodnoty emisí z empirických vzorců. Pokud bychom chtěli zobrazit absolutní hodnoty emisí obsažených ve výfukových plynech, musel by být celý model kalibrován podle předem naměřených hodnot na válcové emisní brzdě. Čím však jsou tyto simulace užitečné je, že zobrazují trendy průběhu koncentrace emisí, a ty mezi sebou můžeme bez problémů porovnávat. Problémem, který při řešení nastal je, že jízdní cyklus je simulován s teplým startem, což zkresluje výsledky. Nevýhodou zobrazených grafů je skutečnost, že nejsou schopny zobrazit výsledky koncentrace emisí ve výfukových plynech v gramech na kilometr, ale pouze v počtu částic na

milion (ppm). Výhodou softwaru je naopak to, že řidič je řízen tzv. PID regulátorem, což znamená, že zvolenou dráhu projede téměř jako skutečný řidič s určitými odchylkami.

Velký problém, který však na programu spatřuji je, že při špatném nastavení parametrů nenahlásí chybu na začátku simulace, ale až v jejím průběhu nebo vytvoří špatně spočítané výsledky, což po několikahodinovém čekání na výsledek není příliš příjemné. Především z tohoto důvodu bych tento program v této verzi pro simulace jízdního emisního cyklu nedoporučil.

Doporučil bych však nejnovější verzi Ricarda Wave, která podle mého názoru spolehlivě provede simulaci jízdního emisního cyklu, protože v ní jsou odstraněny chyby předchozích verzí programu a některá nastavení jsou výrazně zjednodušena. Další výhodou je aktualizovaná nápověda, kde je možné se dozvědět mnohem více informací. Nevýhodou je naopak časová náročnost simulace. Toto by bylo možné odstranit použitím softwaru WAVE – RT, s ním však bohužel nemám žádné zkušenosti a neznám proto výhody a nevýhody tohoto programu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BARTONÍČEK, L. *Konstrukce pístových spalovacích motorů*, 2. přepracované vydání, Liberec 1992
2. Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 83 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo
3. Emise výfukových plynů motorových vozidel (Škoda Auto)
4. KOUCKÝ, P. *Automobily Škoda – Technické a seřizovací hodnoty*, 4., rozšířené vydání, Praha 2006
5. CEDRYCH, M. R. – SCHWARZ, J. – *Automobily Škoda Fabia*, 3., rozšířené vydání, Praha 2003
6. Fabia technické informace (Škoda Auto)
7. Manuál softwaru Ricardo Wave

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mezní hodnoty emisí	13
Tab. 2 Převodová čísla – Škoda Fabia 1,2 HTP s převodovkou MQ 200 – 02 T.....	22

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech na čase testu – městský cyklus.....	37
Graf 2 Závislost koncentrace oxidů dusíku ve výfukových plynech v závislosti na čase testu – městský cyklus.....	37
Graf 3 Závislost koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech na čase testu – městský cyklus	38
Graf 4 Závislost koncentrace nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech na čase testu – mimoměstský cyklus	38
Graf 5 Závislost koncentrace oxidů dusíku ve výfukových plynech na čase testu - mimoměstský cyklus	39
Graf 6 Závislost koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech na čase testu – mimoměstský cyklus	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma emisní válcové brzdy	11
Obr. 2 Evropský jízdní cyklus NEFZ	14
Obr. 3 Americký jízdní cyklus FTP - 75.....	15
Obr. 4 Model tříválcového motoru 1,2 HTP pro Škodu Fabia	17
Obr. 5 Okno modulu Driveline	19
Obr. 6 Okno nastavení spouštěče motoru	20
Obr. 7 Okna nastavení motoru	21
Obr. 8 Okno nastavení spojky	21
Obr. 9 Okno nastavení převodovky	23
Obr. 10 Okno nastavení hnacího hřídele	23
Obr. 11 Okno nastavení rozvodovky	24
Obr. 12 Okno nastavení poloos vozidla	25
Obr. 13 Okno nastavení brzd.....	25
Obr. 14 Okno nastavení vozidla	27
Obr. 15 Okno nastavení strategie řazení	27
Obr. 16 Okno editoru profilu rychlostního stupně v závislosti na čase – evropský jízdní cyklus NEFZ	28
Obr. 17 Okno nastavení parametrů manuálního řazení.....	29
Obr. 18 Okno nastavení chování řidiče.....	30
Obr. 19 Okno editoru profilu rychlosti v závislosti na čase testu – evropský jízdní cyklus NEFZ.....	31
Obr. 20 Ikona nastaveného grafu	31
Obr. 21 Okno nastavení mapy otáček	32
Obr. 22 Okno průběhu simulace.....	33
Obr. 23 Pracovní prostředí programu WavePost.....	34
Obr. 24 Okno nastavení osy X grafů	35
Obr. 25 Okno vložení dat do nového grafu	35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1: Evropský jízdní cyklus

Příloha číslo 2: Americký jízdní cyklus FTP - 75

Příloha číslo 3: Stručný návod pro vytvoření simulace jízdního emisního cyklu

Příloha číslo 4: Pracovní prostředí softwaru WaveBuild

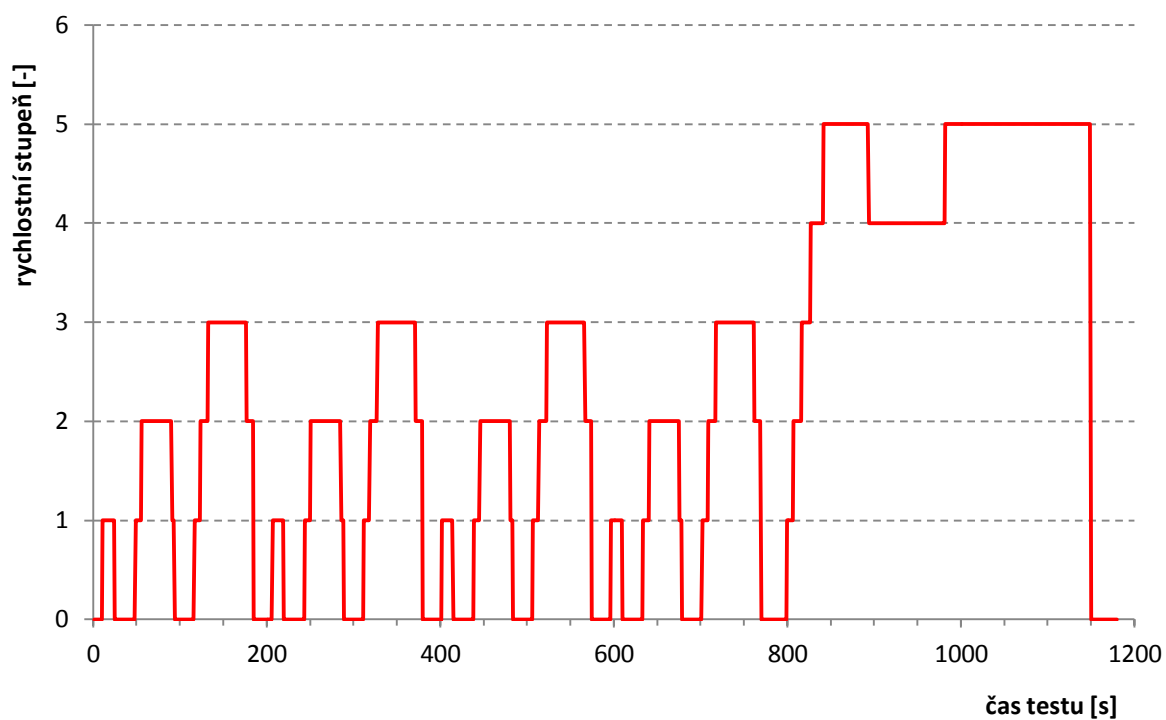
Příloha číslo 5: Model motoru

Příloha číslo 6: Modul Driveline přeložený do češtiny s parametry, které je nutné nastavit

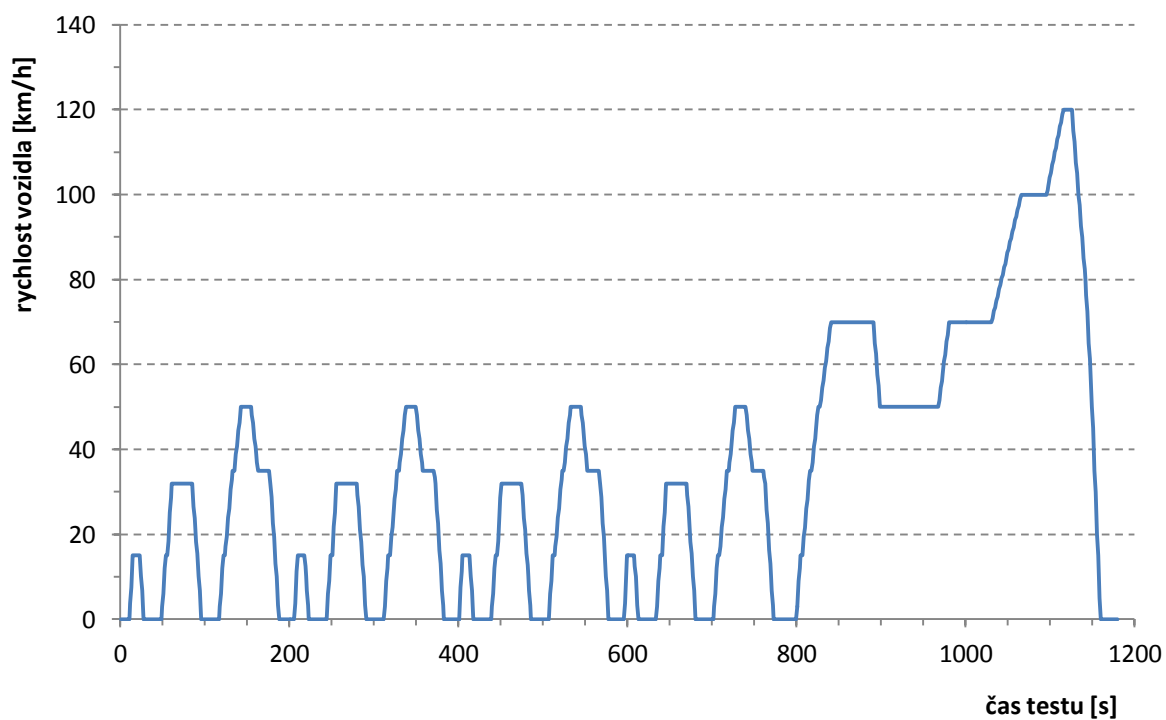
Příloha číslo 7: Výsledky simulace evropského jízdního cyklu

Příloha číslo 1: Evropský jízdní cyklus

Graf zařazených rychlostních stupňů v závislosti na čase testu

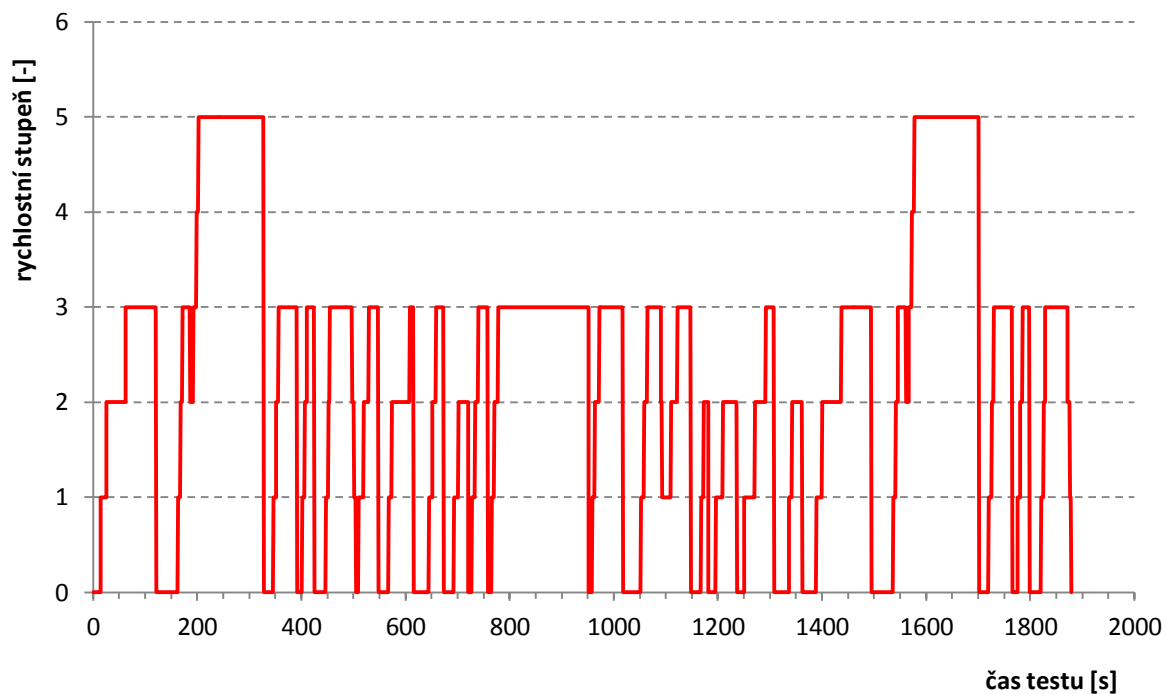


Graf rychlosti vozidla v závislosti na čase testu

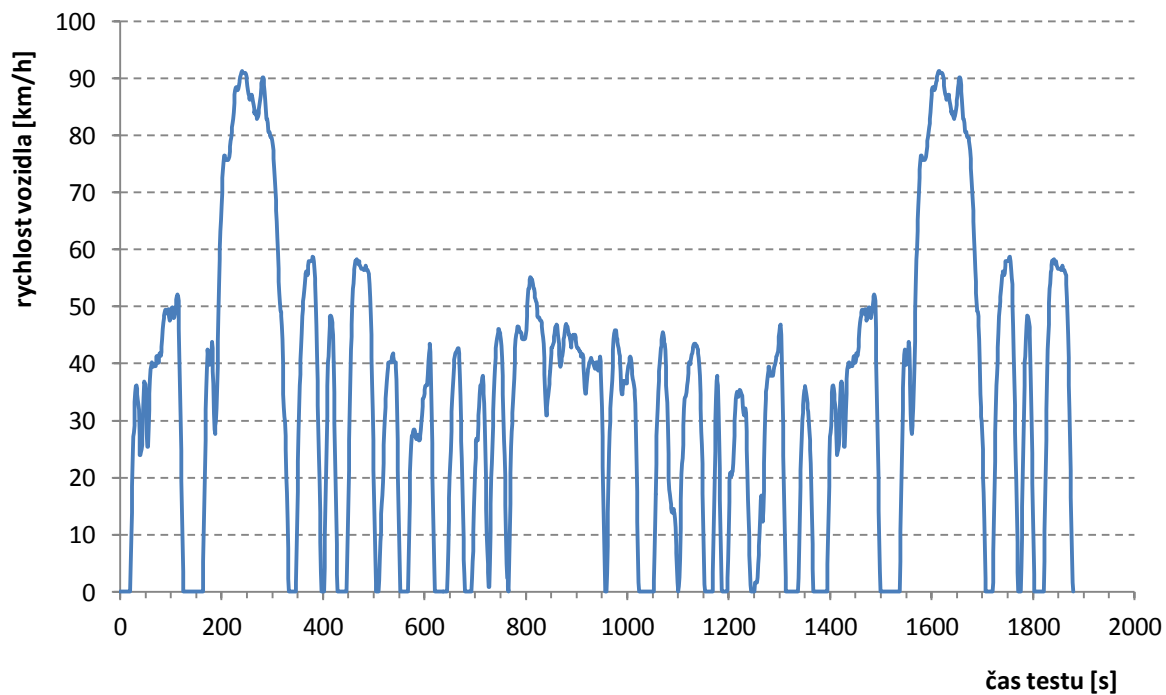


Příloha číslo 2: Americký jízdní cyklus FTP - 75

Graf zařazených rychlostních stupňů v závislosti na čase testu



Graf rychlosti vozidla v závislosti na čase testu

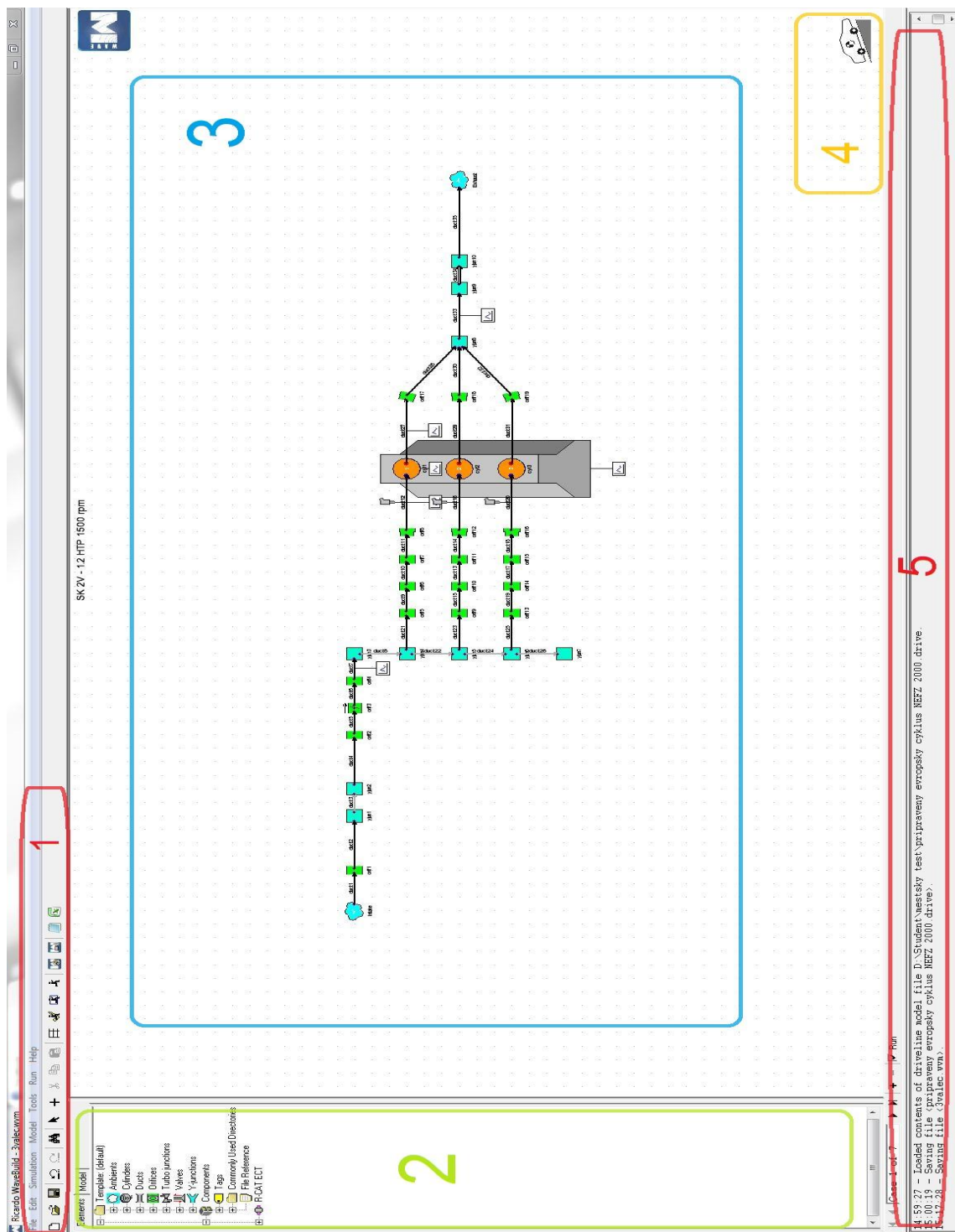


Příloha číslo 3: Stručný návod pro vytvoření simulace jízdního emisního cyklu

1. Otevřete model motoru v programu WaveBuild
2. U modelu motoru je nutné zapnout simulace emisí (dvojitě kliknutí na blok motoru – záložka Combustion – Emissions – zaškrtněte Enable Emissions Model)
3. Spojte modul Driveline s modelem motoru (menu Model – Load – Add Driveline)
4. Otevřete Driveline v pravém dolním rohu programu WaveBuild
5. Proved'te základní nastavení Driveline (převodovka, rozložení hnacího ústrojí, u typu řidiče je nutné nastavit Closed Loop)
6. Proved'te nastavení veškerých parametrů v Driveline (od spouštěče až po nastavení parametrů vozidla)
 - vložení řazení rychlostních stupňů: Shift Strategy – Time Based – Edit Gear vs. Time Profile
 - vložení průběhu rychlosti: Closed Loop Driver – Time Based – Edit Target Speed Profile
7. Zavřete Driveline
8. Proved'te nastavení mapy otáček (menu Model – Map Based Simulation)
 - počet řádků v obou sloupcích musí být shodný

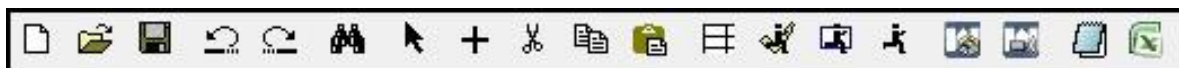
9. Vypněte detekci konvergence (menu Simulation – General Parametres
Convergence – Convergence Detection)
10. Nastavte počet cyklů motoru, který bude nasimulován (menu Simulation
Constants – Table)
11. Spuštění simulace (menu Run – WAVE – Screen Mode)
12. Zobrazení výsledků v programu WavePost (menu Run – WavePost)




















Příloha číslo 4: Pracovní prostředí softwaru WaveBuild



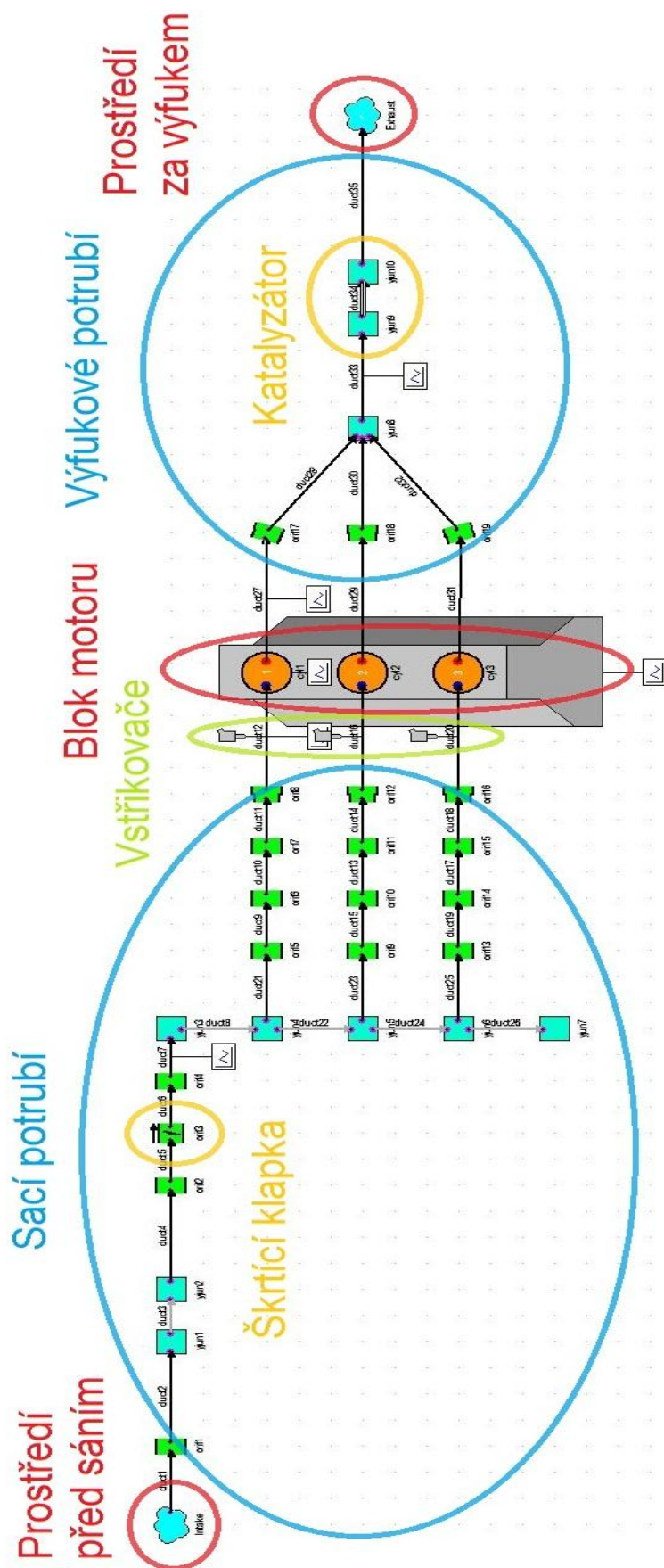
- 1...Menu a panel nástrojů
- 2...Základní prvky pro vytvoření modelu motoru
- 3...Pracovní plocha pro tvorbu modelu motoru
- 4...Ikona připojeného modulu Driveline
- 5...Stavový řádek

Panel nástrojů

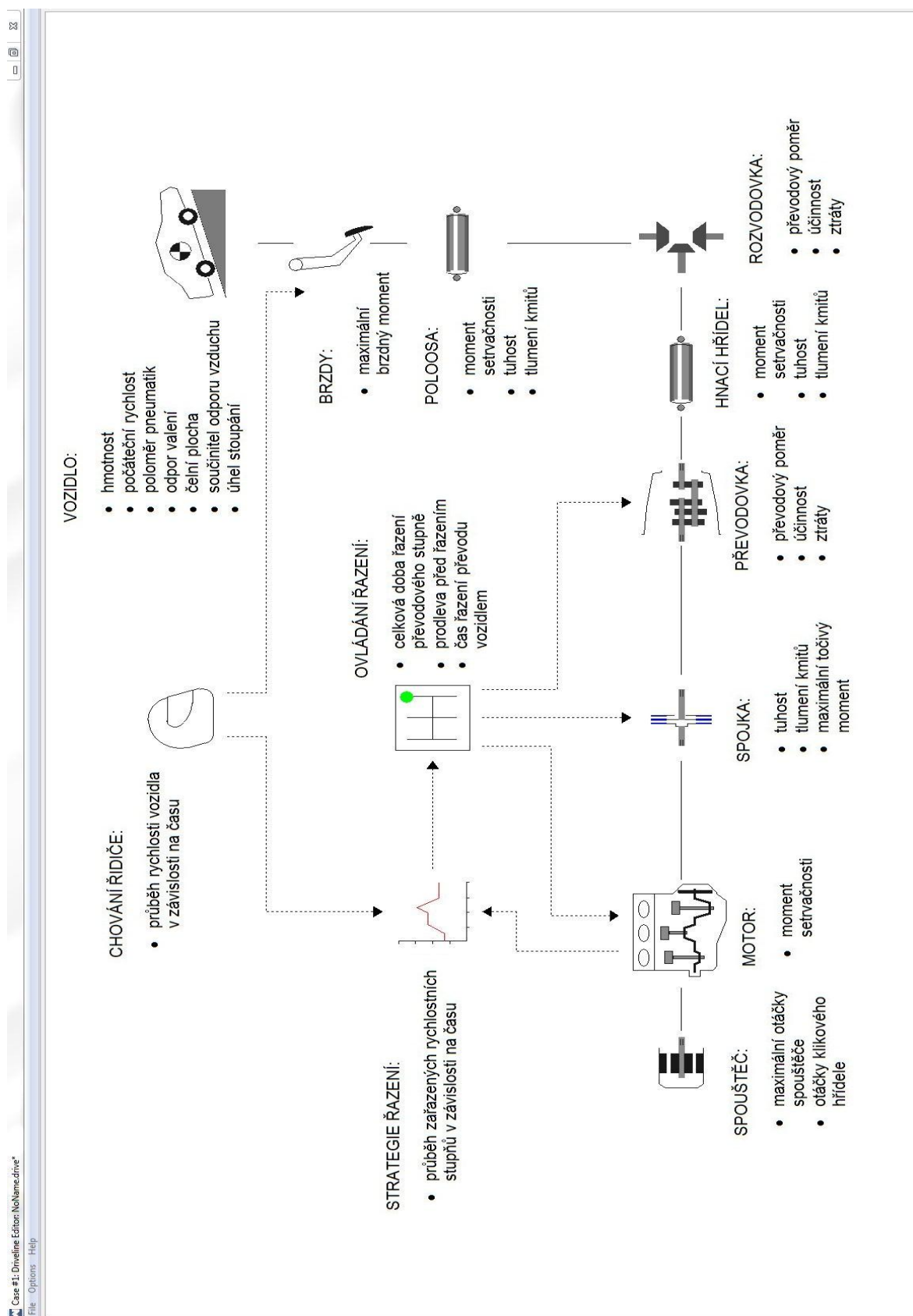


	Vytvořit nový model
	Otevřít existující model
	Uložit změny v aktuálním modelu
	Zpět
	Vpřed
	Najít specifické prvky v modelu
	Ukončit operaci a vrátit se do výběrového režimu
	Umístit prvek modelu
	Vymout
	Kopírovat
	Vložit
	Otevřít tabulku konstant pro aktuální model
	Provést kontrolu vstupních údajů pro aktuální model
	Spustit simulaci v obrazovém režimu
	Spustit simulaci v dávkovém režimu
	Otevřít výsledky aktuálního modelu v programu WavePost
	Otevřít výsledky aktuálního modelu v programu WNOISE
	Spustit textový editor
	Spustit Microsoft Excel

Příloha číslo 5: Model motoru

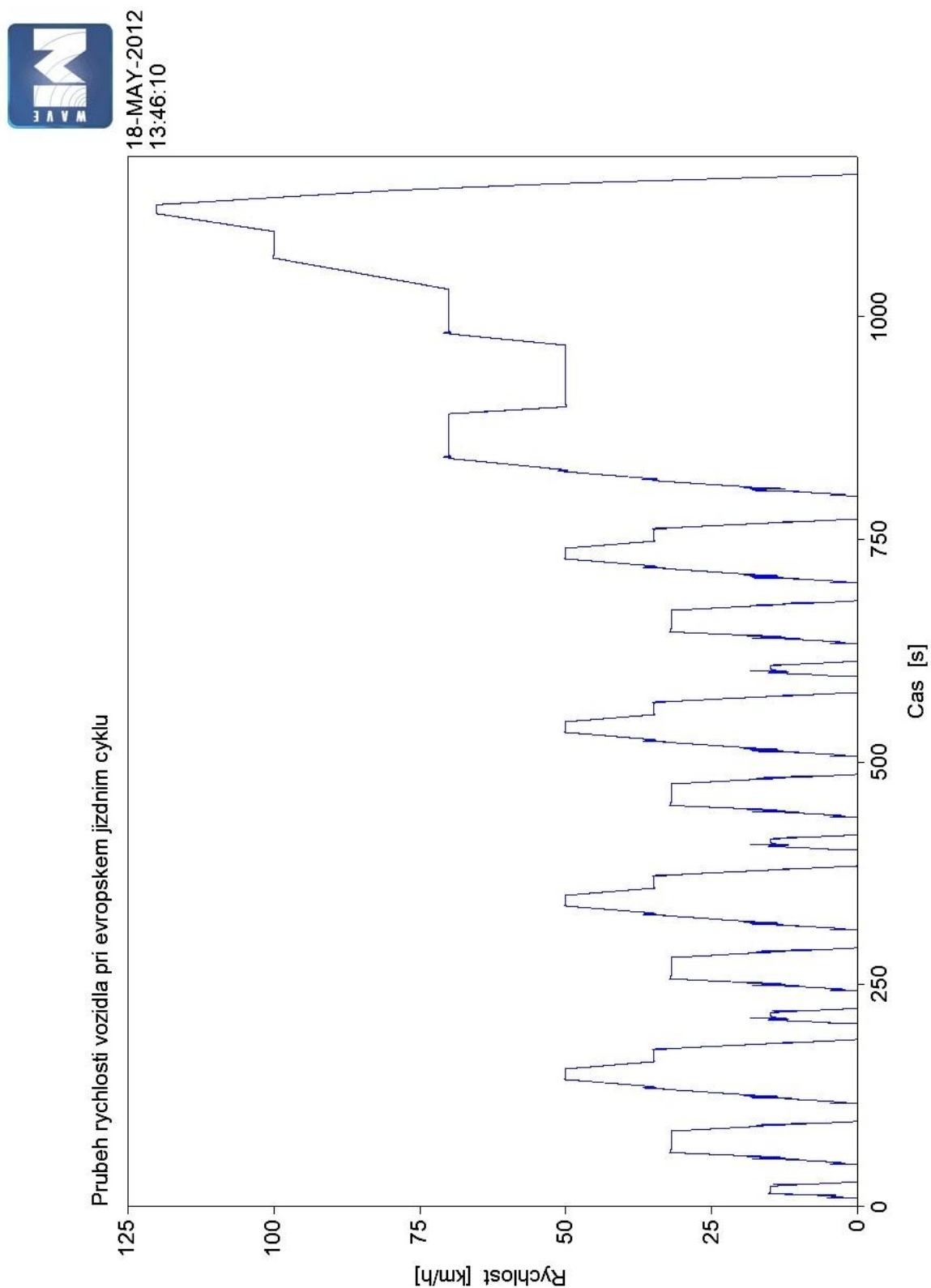


Příloha číslo 6: Modul Driveline přeložený do češtiny s parametry, které je nutné nastavit

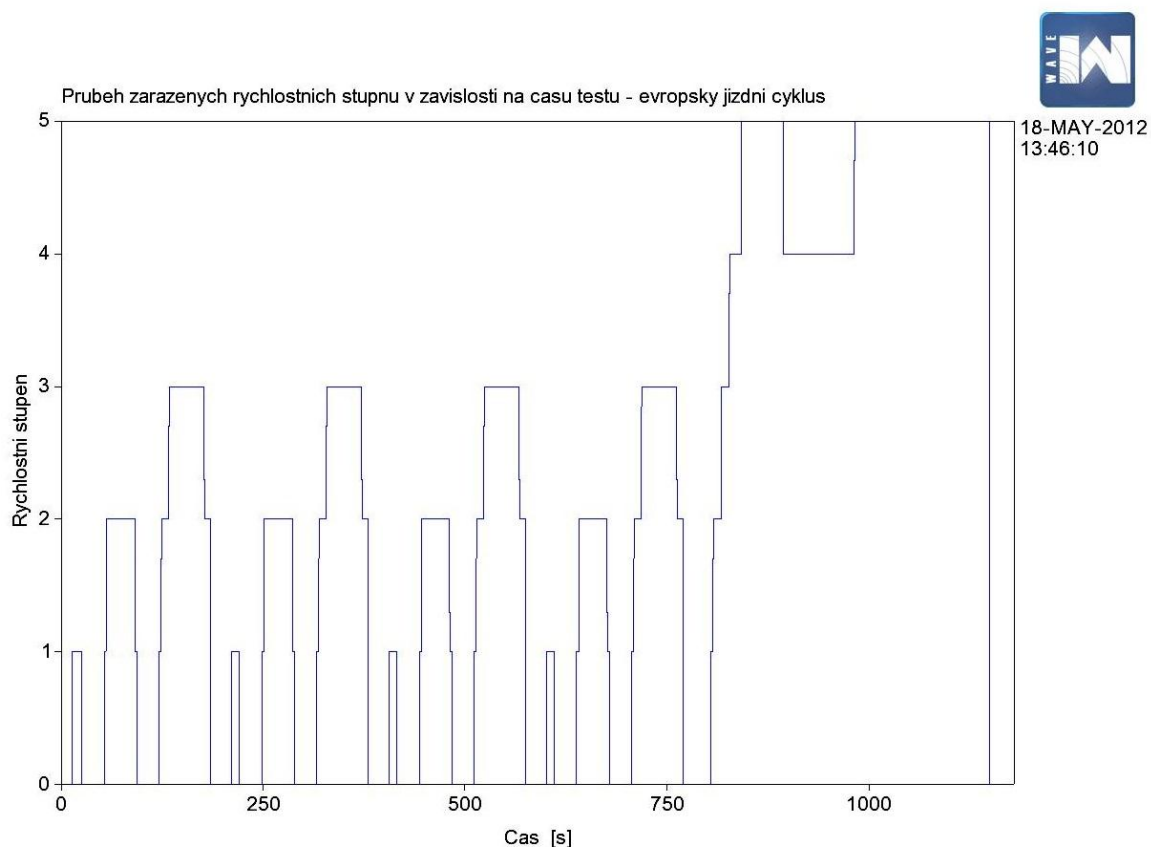


Příloha číslo 7: Výsledky simulace evropského jízdního cyklu

Graf skutečné rychlosti vozidla při simulaci v Ricardu Wave v závislosti na času testu



Graf zařazených stupňů při simulaci v Ricardu Wave v závislosti na čase testu



Graf ujeté vzdálenosti vozidla při simulaci v Ricardu Wave v závislosti na čase testu

